

**ANALISIS KARAKTERISTIK TERMAL KABEL NYY UNTUK  
APLIKASI INSTALASI LISTRIK LUAR RUANGAN**



*Building  
Future  
Leaders*

**HADI MAULANA**

**5315134493**

**Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik  
dalam mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN VOKASIONAL  
TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2018**

## **PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING**

Skripsi dengan judul:

**“Analisis Karakteristik Termal Kabel NYY Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Luar Ruangan”**

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Disetujui dan diajukan dalam seminar Skripsi.


Jakarta, April 2018

Dosen Pembimbing I



Ir. Yunita Sari, MT., M.Si.  
NIP. 196806062005012001

Dosen Pembimbing II



Siska Titik Dwiwati, S.Si., MT.  
NIP. 197812122006042002

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Karakteristik Termal Kabel NYY Untuk Aplikasi Instalasi Listrik  
Luar Ruangan

Nama : Hadi Maulana

NIM : 5315134493

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**NAMA DOSEN**

**TANDA TANGAN**

**TANGGAL**

**Ir. Yunita Sari, MT., M.Si.**  
NIP. 196806062005012001  
(Dosen Pembimbing 1)



27 APRIL 2018

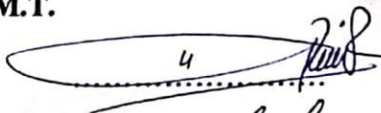
**Siska Titik Dwiwati, S.Si., MT.**  
NIP. 197812122006042002  
(Dosen Pembimbing 2)



30/4 - 2018

### PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

**Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.**  
NIP. 197604222006041001  
(Ketua)



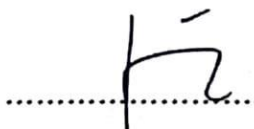
18/2018  
04

**Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T.**  
NIP. 198310132008121002  
(Sekretaris)



27/04 - 2018

**Dr. Riza Wirawan, M.T.**  
NIP. 197804112005011003  
(Dosen Ahli)



20/4 2018

Mengetahui.

Koordinator Program Studi

Pendidikan Vokasional Teknik Mesin FT – UNJ



**Ahmad Kholil, ST., MT.**  
NIP. 197908312005011001

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Analisis Karakteristik Termal Kabel NYY Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Luar Ruangan”**, disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di Perguruan Tinggi manapun.

Jakarta, April 2018



Hadi Maulana  
NIM. 5315134493

## ABSTRAK

**HADI MAULANA**, “Analisis Karakteristik Termal Kabel NYY Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Luar Ruangan.” Skripsi. Jakarta. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta. 2018.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik termal dari kabel NYY yang berstandar SNI IEC 60502-1 dibandingkan dengan kabel yang tidak berstandar untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan. Karakteristik ini dapat dilihat dalam bentuk kenaikan temperatur dan perubahan fisik jika dialiri arus listrik.

Jenis kabel yang digunakan adalah NYY 3 x 1.5 mm<sup>2</sup> untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan yang berstandar SNI IEC 60502-1 dan kabel NYY 3 x 1.5 mm<sup>2</sup> yang tidak berstandar. Arus yang digunakan dalam pengujian adalah 5A-65A dan waktu pengujiannya adalah 5 menit.

Hasil pengujian injeksi arus pada kabel menunjukkan bahwa kabel berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami kenaikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan kabel tidak berstandar. Arus maksimum yang dapat bertahan pada pengujian adalah 60 A. Perubahan fisik yang terjadi adalah, kabel berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami meleleh dan akhirnya hangus, sedangkan kabel yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami meleleh dan tidak hangus. Selain itu perubahan yang terjadi adalah munculnya asap pada saat pengujian dengan jumlah pada kabel standar SNI IEC 60502-1 lebih sedikit dibandingkan dengan kabel tidak standar

**Kata kunci :** Karakteristik termal, SNI IEC 60502-1, Kenaikan Temperatur, Perubahan Fisik.

## ***ABSTRACT***

**HADI MAULANA**, "Thermal Cable Characteristic Analysis NYY For Outdoor Electrical Installation Applications." Essay. Jakarta. Faculty of Engineering. Universitas Negeri Jakarta. 2018.

This study aims to determine the thermal characteristics of NYY cables standardized SNI IEC 60502-1 compared with non-standard cable for outdoor electrical installation applications. This characteristic can be seen in the form of temperature rise and physical changes when the current flows

The type of cable used is NYY 3 x 1.5 mm<sup>2</sup> for outdoor electrical installation applications of SNI IEC 60502-1 standard and NYY 3 x 1.5 mm<sup>2</sup> non-standard cable. The current used in the test is 5A-65A and the test time is 5 minutes.

The results of current injection testing on the cable indicate that the standard cables SNI IEC 60502-1 experienced a lower temperature increase compared to non-standard cable. The maximum current that can withstand the test is 60 A. Physical changes that occur are, standard cables SNI IEC 60502-1 melted and finally charred, while the cable is not standardized melted and not burned. In addition, the changes that occur are the emergence of smoke at the time of testing with the number of standard cable SNI IEC 60502-1 fewer than the non-standard cable

**Keywords:** Thermal characteristics, SNI IEC 60502-1, Temperature Increases, Physical Changes

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini, sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Selama proses penelitian, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ahmad Kholil, ST, MT. Selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Mesin.
2. Ibu Ir. Yunita Sari, MT., M.Si. Selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan meluangkan waktu hingga selesainya penulisan skripsi ini.
3. Ibu Siska Titik Dwiwati, S.Si., MT. Selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing dan meluangkan waktu hingga selesainya penulisan skripsi ini.
4. Bapak Thomas, S.T. Selaku Kepala Laboratorium Pengujian Tegangan Rendah (Tera) PT. PLN (Persero) Area Tanjung Priuk, membimbing dalam mengoperasikan alat uji *High Current Injector Test Set*.

5. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dorongan semangat baik moral atau materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
6. Seluruh teman teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri jakarta yang memberikan motivasi, masukan dan kritik dalam penulisan skripsi ini.
7. Seluruh anggota Majelis Tinggi Mahasiswa UNJ dan Punggawa BBL FT 2013 yang telah menemani dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca ataupun para teman-teman yang ingin atau sedang melakukan penelitian guna memberikan sedikit informasi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Penulis mendoakan semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak mendapatkan limpahan rahmat yang sebesar-besarnya dari ALLAH SWT. Aamiin.

Jakarta, April 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Dasar – Dasar Teori Perpindahan Energi Panas .....	6
2.1.1 Konduksi .....	6
2.1.2 Konveksi.....	8
2.1.3 Radiasi.....	9
2.2 Api Karena Listrik.....	9
2.2.1 Penyebab Utama Dari Api Karena Listrik .....	11
2.3 Polimer .....	12
2.3.1 Karakteristik Bahan Polimer .....	14
2.3.2 Massa Jenis Bahan Polimer.....	15
2.3.3 Karakteristik Mekanik Polimer .....	16
2.3.4 Karakter Listrik Polimer.....	17
2.3.4.1 Kekuatan Hancur Dielektrik Bahan Isolasi .....	18
2.3.4.2 Tahanan Isolasi .....	19
2.3.5 Sifat Termal Polimer .....	23
2.3.5.1 Panas Jenis .....	23
2.3.5.2 Koefisien Hantaran Termal.....	25
2.3.5.3 Titik Tahan Panas .....	25
2.3.5 Polivinil Klorida (PVC) .....	27
2.4 Kabel dan Penghantar.....	29
2.4.1 Jenis Kabel dan Penghantar.....	30

2.4.2 Kabel NYY.....	33
2.4.3 Kemampuan Hantar Arus ( KHA ) .....	35
2.4.4 Tegangan Pengenal .....	36
2.5 Karakteristik Termal Dari Kabel.....	37
2.5.1 Sumber Pemanasan Pada Kabel .....	39
2.5.1.1 Rugi – Rugi Konduktor.....	39
2.5.1.2 Rugi – Rugi Dielektrik.....	40
2.6 Pengujian Kabel listrik.....	41
2.6.1 Standar Pengujian Kabel Listrik .....	42
2.7 Penelitian yang Relevan .....	42

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	45
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	45
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	46
3.3.1 Pemilihan Kabel .....	47
3.3.2 Rangkaian Pengujian .....	48
3.3.3 Persiapan Awal Pengujian .....	49
3.3.4 Prosedur Pengujian .....	50
3.3.4.1 Langkah Pengujian Terhadap Kabel .....	50
3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data .....	52
3.4.1 Metode Kajian Pustaka.....	52
3.4.2 Metode Eksperimen Laboratorium.....	52
3.5 Teknik Analisis Data .....	52

### **BAB IV HASIL PENELITIAN**

4.1 Hasil Penelitian .....	54
4.2 Analisa Data Penelitian .....	60
4.2 Pembahasan.....	67
4.2 Aplikasi Hasil Penelitian.....	68

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran.....	74

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>78</b>
-----------------------	-----------

<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>84</b>
-----------------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Panas Saat Terjadi Konduksi .....	8
Gambar 2.2 Segitiga Api .....	10
Gambar 2.3 Perbandingan Massa Jenis Bahan Industri .....	16
Gambar 2.4 Arus Pada Suatu Dielektrik .....	21
Gambar 2.5 Pengaruh Tegangan Terhadap Tahanan Isolasi .....	22
Gambar 2.6 Tahanan vs Waktu .....	23
Gambar 2.7 Rumus Kimiawi PVC.....	27
Gambar 2.8 Kabel Instalasi Tetap .....	33
Gambar 2.9 Kabel Fleksibel .....	33
Gambar 2.10 Kabel Jenis NYY.....	34
Gambar 2.11 Kemampuan Hantar Arus Kabel NYY.....	35
Gambar 2.12 Dampak Medan Elektrik Terhadap Molekul Dielektrik .....	40
Gambar 3.1 Konstruksi Kabel NYY .....	47
Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Ketahanan Termal .....	49
Gambar 4.1 Grafik Kabel Standar SNI IEC 60502-1 ( Arus 5A- 20A ).....	56
Gambar 4.2 Grafik Kabel Standar SNI IEC 60502-1 ( Arus 25A- 65A ).....	56
Gambar 4.3 Grafik Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 (Arus 5A- 20A)..	58
Gambar 4.4 Grafik Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 (Arus 25A- 65A)	58
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Kabel (Arus 60A dan 65A) .....	60
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Resistansi dan Konduktansi Kabel .....	65
Gambar 4.7 Kondisi Kabel Ketika Dialiri Arus Sebesar 60 A .....	66
Gambar 4.8 Reaksi Pembakaran PVC .....	67
Gambar 4.9 Intensitas Asap Kabel Standar.....	71
Gambar 4.10 Intensitas Asap Kabel Tidak Standar .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian Material Polimer Secara Umum .....	13
Tabel 2.2 Panas Jenis Bahan Polimer .....	24
Tabel 2.3 Ketahanan Panas Polimer.....	26
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	45
Tabel 4.1 Penginjeksian Arus Kabel NYY Berstandar SNI IEC 60502-1 ( arus 5A - 20A) .....	55
Tabel 4.2 Penginjeksian Arus Kabel NYY Berstandar SNI IEC 60502-1 ( Arus 25A – 65A ).....	55
Tabel 4.3 Penginjeksian Arus Kabel NYY Tidak Berstandar SNI IEC 60502-1 (arus 5A - 20A) .....	57
Tabel 4.4 Penginjeksian Arus Kabel NYY Tidak Berstandar SNI IEC 60502-1( Arus 25A – 65A .....	57
Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Kabel Standar SNI IEC 60502-1 .....	63
Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 .....	64
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Kondisi Kabel Standar Dengan Kabel Tidak Standar.....	69

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Surat Keterangan Melakukan Penelitian .....	79
Lampiran 2 Katalog Kabel Berstandar SNI IEC 60502-1 .....	80
Lampiran 3 SNI IEC 60502-1 .....	81
Lampiran 4 Gambar Proses Pengujian Ketahanan Termal Kabel .....	82

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kebakaran merupakan bencana yang sering terjadi di kota-kota besar baik pada kawasan pemukiman penduduk, gedung perkantoran, pabrik, pasar, pusat perbelanjaan dan lain- lain. Berdasarkan statistik data dari Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2017 di DKI Jakarta terjadi 798 kasus bencana kebakaran disebabkan oleh permasalahan listrik, 32 kasus disebabkan oleh rokok, 142 kasus disebabkan oleh kompor, dan 6 kasus belum diketahui penyebabnya.

Menurut Falcon (2008:1) kebakaran dapat terjadi jika terdapat tiga elemen yaitu bahan yang mudah menyala dan terbakar serta adanya temperatur tinggi ( biasanya  $200^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$  ), Adanya energi panas yang menghasilkan temperatur tinggi dengan daya yang cukup dan lama pengaruhnya serta gas oksigen dalam jumlah yang cukup. Korsleting listrik yang terjadi pada instalasi listrik disebabkan oleh gangguan pada penghantar listrik yang ada, salah satunya adalah kabel, dengan menimbulkan panas berlebih pada penghantar tersebut dan terjadi korsleting listrik sehingga dapat memicu timbulnya api yang menyebabkan terjadinya kebakaran.

Instalasi yang baik tentunya menggunakan kabel instalasi yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), seperti kabel NYY dengan isolasi dan selubung *polyvinyl chloride* (PVC). Selubung PVC memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan instalasi listrik dalam ruangan atau luar ruangan dan

memenuhi syarat standar serta beberapa kelebihan dari material lain antara lain yang lebih ringan, sifat mekanik yang lebih baik, dan sifat rugi dielektrik yang lebih kecil. Kelebihan lain yang juga penting adalah proses produksinya yang lebih cepat dan biaya produksinya yang lebih murah. Sehingga proses kearah pabrikasi akan lebih mudah jika dibandingkan insulator yang lain (Cakra 2009:11).

Kekurangan bahan Isolasi PVC antara lain mempunyai ketahanan panas yang rendah sehingga mudah meleleh jika bekerja pada suhu yang tinggi . pada kondisi tertentu lelehan kabel akan terbakar dan tidak segera padam, tetapi tetap menyala dalam waktu yang cukup untuk membakar. Ditambah dengan adanya udara yang mengandung oksigen serta adanya benda kering yang mudah terbakar sehingga mudah menimbulkan api, inilah salah satu kemungkinan penyebab kebakaran.

Karakteristik masyarakat yang cenderung menggunakan listrik sebagai bagian dari kebutuhan hidupnya terkadang tidak memperhitungkan faktor keamanan. Salah satu contohnya yaitu tidak menggunakan kabel sesuai dengan fungsinya, misalnya menggunakan kabel yang diperuntukkan untuk instalasi listrik dalam ruangan (*indoor*), namun pada kenyataannya digunakan untuk instalasi listrik luar ruangan (*outdoor*). Karena pada kabel listrik *outdoor* dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, air, sinar matahari dan lain-lain yang tidak dimiliki kabel *indoor*. Maka kabel *indoor* akan lebih cepat rusak jika digunakan untuk *outdoor* dan dapat mengakibatkan lapisan pembungkus kabel lebih mudah rusak.

Selain itu penggunaan kabel yang tidak standar juga meningkatkan resiko korsleting listrik pada kabel. Kabel yang tidak standar tidak diketahui spesifikasi dan tidak memenuhi syarat standar serta terdapat beberapa kekurangan. Salah satunya adalah ketahanan panas yang rendah sehingga mudah meleleh jika bekerja pada arus yang tinggi. Pada kondisi tertentu lelehan kabel akan terbakar dan tidak segera padam, tetapi tetap menyala dalam waktu yang cukup untuk membakar.

Kondisi diatas mendorong peneliti untuk menganalisis karakteristik kabel yang dapat bertahan pada saat kenaikan temperatur kabel sehingga dapat menghambat terjadinya percikan bunga api yang dapat menyebabkan kebakaran. Sesuai standar SNI IEC 60502-1 terdapat kabel NYY yang memiliki tingkat ketahanan isolasi yang lebih baik sehingga dapat bertahan pada temperatur yang lebih tinggi.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kabel dapat menimbulkan panas berlebih sehingga menyebabkan korsleting listrik?.
2. Apakah perbedaan pengaruh instalasi listrik jika kabel yang digunakan adalah kabel standar dan yang tidak standar ?.
3. Bagaimana karakteristik kabel yang berstandar SNI IEC 60502-1 dan yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 ketika dialiri arus listrik ?.



4. Bagaimana bentuk perubahan fisik dari kabel yang berstandar SNI IEC 60502-1 dan yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 ketika dialiri arus listrik ?.
5. Berapakah arus, temperatur, dan waktu maksimal yang dapat di terima dan dialirkan oleh kabel PVC yang berstandar SNI IEC 60502-1 dan yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 ?.

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Didasarkan atas keterbatasan peneliti baik dari sisi kemampuan maupun materi yang dimiliki dan agar penelitian ini lebih terarah dan memiliki tujuan yang lebih rinci, maka diperlukan adanya pembatasan masalah yang akan di teliti. Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Tipe kabel untuk instalasi luar ruangan adalah yang berstandar SNI IEC 60502-1 yaitu jenis NYY 3 x1,5 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV dan kabel untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan yang tidak standar SNI IEC 60502-1.
2. Panjang kabel 80 cm, Pengujian ketahanan termal kabel dengan penginjeksian arus dan dilakukan dengan tegangan bolak-balik (AC) 220 V dengan frekuensi 50 Hz.
3. Arus yang digunakan dari 5 A sampai dengan 65 A dengan variasi kenaikan arus sebesar 5 ampere.

### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah yang telah jelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana karakteristik termal kabel NYY 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> berstandar SNI IEC

60502-1 dibandingkan dengan jenis kabel tidak berstandar SNI IEC 60502-1 untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan?”.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik termal dan arus maksimal yang dapat dialirkan dari kabel NYY yang berstandar SNI IEC 60502-1 dibandingkan dengan kabel yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan.
2. Mengetahui perubahan fisik yang terjadi pada kabel yang berstandar SNI IEC 60502-1 dan yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang ketahanan isolasi pada kabel NYY berstandar SNI IEC 60502-1 yang digunakan pada instalasi listrik luar ruangan.
2. Memberikan informasi tentang hubungan Arus, waktu, dan temperatur ketika kabel yang digunakan pada instalasi listrik luar ruangan meleleh atau terbakar.
3. Memberikan informasi jenis kabel untuk instalasi listrik luar ruangan yang aman digunakan serta memiliki tingkat resiko kebakaran yang lebih rendah.
4. Sebagai referensi atau acuan untuk dapat dilakukan penelitian tingkat lanjut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar – Dasar Teori Perpindahan Energi Panas**

Menurut Cengel dan Ghajar (2011:17) Pada dasarnya terdapat tiga macam proses perpindahan energi panas. Proses tersebut adalah perpindahan energi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan energi secara konduksi dan konveksi terjadi pada material padat dan cair, sedangkan proses perpindahan energi panas secara radiasi terjadi pada ruang hampa.

##### **2.1.1 Konduksi**

Menurut Incropera dkk (2007:3) Perpindahan energi panas secara konduksi merupakan perpindahan energi panas yang disalurkan secara langsung antar molekul tanpa adanya perpindahan dari molekul yang bersangkutan. Proses konduksi terjadi pada benda padat, cair maupun gas jika terjadi kontak secara langsung dari ketiga macam benda tersebut. Ada empat hal penting dalam konduksi yaitu (1) konduktivitas panas, (2) konduktansi panas, (3) resistivitas panas, dan (4) resistansi panas.

Menurut Leinhard IV dan Leinhard V (2000:143) Konduktivitas panas ( $k$ ) merupakan perhitungan kapasitas hantar panas suatu material atau disebut dengan indeks hantar panas per unit luas konduksi per *gradient* temperatur dari suatu material. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{Q}{A \Delta T/m} \quad \left[ \frac{W}{m^2 \Delta 1^\circ C/m} \right] \quad (2.1)$$

Keterangan :  $Q$  = kecepatan aliran panas [W]

$A$  = luas daerah hantaran panas [m<sup>2</sup>]

$\Delta T/m$  = gradient temperatur disepanjang material [ $\Delta 1^\circ C/m$ ]

Konduktansi panas ( $K$ ) merupakan perhitungan kapasitas dari perpindahan panas materi dalam menghantarkan panas. Perumusannya adalah:

$$k = \frac{Q}{A \Delta T} \quad \left[ \frac{W}{m^2 \Delta 1^\circ C} \right] \quad (2.2)$$

Keterangan :  $Q$  = kecepatan aliran panas [W]

$A$  = luas daerah hantaran panas [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$  = selisih temperatur [ $\Delta 1^\circ C$ ]

Konduktansi panas  $K$  untuk proses konduksi adalah sebagai berikut:

$$k = AK = \frac{Q}{\Delta T} \quad \left[ \frac{W}{\Delta 1^\circ C} \right] \quad (2.3)$$

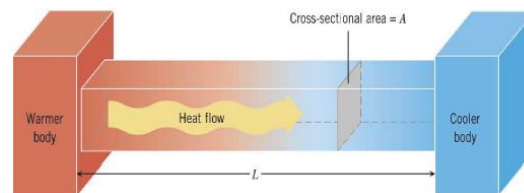
Sedangkan untuk resistivitas panas ( $r$ ) dan resistansi panas ( $R$ ) masing – masing merupakan kebalikan dari konduktivitas panas dan konduktansi panas yaitu dirumuskan sebagaimana seperti dibawah ini :

$$R = A \left( \frac{1}{K} \right) \quad \left[ \frac{m^2 \Delta 1^\circ C}{W} \right] \quad (2.4)$$

$$R = \left( \frac{1}{K} \right) = \frac{1}{AK} = R/A \quad \left[ \frac{\Delta 1^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (2.5)$$

Konduktivitas panas merupakan properti dari suatu material yang menentukan kemampuan suatu benda menghantarkan panas. Materi yang memiliki konduktivitas panas rendah dapat disebut dengan isolator yang baik. Setiap materi memiliki lebar batasan dari konduktivitas panas.

Konsep dasar konduktivitas panas adalah kecepatan dari proses difusi energi kinetik molekular pada suatu material yang menghantarkan panas. Walaupun mekanisme perambatan gerakan secara molekular pada perambatan panas hampir sama dengan perambatan dari suara dan sifat elektik dari material itu, tetapi hanya ada sebagian dari hubungan secara teoritis yang bisa dicapai.



**Gambar 2.1 Aliran Panas Saat Terjadi Konduksi**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi.Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

### 2.1.2 Konveksi

Perpindahan energi panas dengan proses konveksi terjadi hanya pada benda cair. Menurut Incropera dkk (2007:6) Perpindahan ini disertai dengan perpindahan benda cair secara fisik. Pada saat energi panas yang diterima oleh benda cair tersebut melebihi titik batas maka benda cair itu akan mengalami perubahan fasa.

### **2.1.3 Radiasi**

Perpindahan panas dengan proses radiasi ini berbeda dengan proses- proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Menurut Leinhard IV dan Leinhard V (2000:493) Energi radiasi dirambatkan menggunakan gelombang elektromagnetik diantara dua objek yang dipisahkan oleh jarak dan perbedaan temperatur dan tanpa medium penghantar. Hal ini sangat berbeda dengan perambatan energi cahaya yang hanya menggunakan panjang gelombang masing – masing. Gelombang elektromagnetik ini (radiant energi) dapat melalui ruangan hampa dengan sangat cepat dan juga dapat melalui cair, gas dan beberapa benda padat. Energi yang dirambatkan (radiant energi) ini diserap oleh permukaan benda yang dikenainya dengan jumlah yang berbeda – beda. Hal ini tergantung pada kemampuan menyerap dari benda yang dikenainya.

Matahari merupakan contoh yang mudah untuk perpindahan panas dengan radiasi. Radiasi energi dari matahari dirambatkan melalui ruang hampa dan atmosfer bumi. Energi yang dirambatkan ini akan diserap dan tergantung pada karakteristik permukaan. Semua objek yang memiliki warna yang gelap terutama berwarna hitam akan lebih mudah menyerap energi ini.

### **2.2 Api Karena Listrik**

Timbulnya api karena penggunaan energi listrik disebabkan oleh tiga hal, yakni penggunaan energi listrik yang tidak sesuai, pengaman kurang baik, pemasangan instalasi listrik yang tidak sesuai aturan dan penggunaan bahan dan perlengkapan instalasi listrik yang tidak standar (Subagyo, 2012: 8).

Api adalah aksi kimia yang dihantarkan oleh perubahan panas, sinar dan nyala serta emisi (pengeluaran) suara. Oksigen merupakan bahan yang amat diperlukan dalam suatu reaksi pembakaran yaitu reaksi oksidasi. Menurut Kelvin (2015: 37) api tidak terjadi begitu saja tetapi merupakan suatu proses kimiawi antara uap bahan bakar dengan oksigen dan bantuan panas, teori ini dikenal dengan segitiga api (*fire triangle*).



**Gambar 2.2 Segitiga Api**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi.Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Timbulnya bentuk api :

a. Sumber panas

Pemanasan pada benda yang mudah terbakar merupakan sumber panas. Ketika api sudah menyala maka sumber panasnya adalah api itu sendiri.

b. Oksigen

Oksigen menyebabkan reaksi oksidasi dan ketika kekurangan oksigen maka pembakaran akan melambat dan pada akhirnya akan berhenti.

c. Bahan yang mudah terbakar

Ada dua jenis bahan yaitu:

1) berbentuk cair dengan temperatur lebih dingin dan lebih berbahaya karena dapat terbakar pada suhu kamar.

2) berbentuk padat dengan temperatur lebih tinggi, tidak mudah terbakar pada suhu kamar kecuali ada pemicu.

### **2.2.1 Penyebab Utama Dari Api Karena Listrik**

Berikut adalah penyebab- penyebab utama dari api karena listrik menurut Schroll (2002:77) :

a. Beban berlebih

Beban berlebih pada Peralatan listrik menghasilkan arus berlebih. Panas juga bertambah pada kabel dan proporsional dengan kuadrat arus sehingga menjadi terlalu panas. Isolasi kabel umumnya dibuat dari material yang mudah sekali rusak akibat temperatur berlebih. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya hubungan singkat karena banyak material isolasi kabel yang mudah terbakar, bahkan dapat menyebabkan kebakaran apabila mencapai temperatur penyalan.

b. Kegagalan isolasi

Kerusakan atau pengurangan kemampuan dari isolasi listrik dapat menghasilkan hubungan singkat dan munculnya busur listrik secara kontinu,



diikuti dengan terbakarnya material isolasi yang mudah terbakar. Hal ini terjadi karena suhu busur listrik yang tinggi.

c. Kegagalan tekanan kontak

penurunan kemampuan dan kegagalan tekanan kontak antara variasi komponen dalam instalasi listrik yang bisa menyebabkan busur api, pemanasan lokal dan terbakarnya material isolasi yang mudah terbakar. Dalam kasus tertentu, ada kemungkinan tidak terjadi busur listrik tetapi dengan pemanasan berlebih sudah dapat menyalakan api.

d. Kerusakan konduktor

Kerusakan dari komponen arus konduktor yang disebabkan tekanan mekanis dapat menyebabkan busur listrik lokal pada titik terjadinya kerusakan. Temperatur busur listrik sangatlah tinggi dan apabila terdapat material yang mudah terbakar disekitarnya, api dapat dengan mudah tersulut.

## 2.3 Polimer

Plastik, Serat, Film dan sebagainya yang biasa dipergunakan dalam kehidupan sehari –hari mempunyai berat molekul diatas 10.000 amu. Bahan dengan berat molekul yang besar itu disebut polimer, mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik – menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen di mana setiap atom dari pasangan terikat

menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron (Surdia dan Saito, 1992: 171). Secara garis besar bahan polimer dapat digolongkan kedalam dua bagian yaitu :

a. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik berstruktur molekul linear dan dapat diinjeksikan kedalam cetakan selagi panas karena polimer termoplastik menjadi lunak pada suhu yang tinggi. Pada proses pembentukannya tidak terjadi polimerisasi lagi, PVC termasuk kedalam polimer jenis ini.

b. Polimer Termoset atau Resin Termoset

Polimer ini tidak menjadi lunak bila dipanaskan dan tetap menjadi kaku. Agar dapat mencetak polimer termoset ini, perlu mulai dengan campuran yang terpolimerisasi sebagian dan pengubahan bentuk dibawah pengaruh tekanan. Bila didiamkan pada suhu sekitar 200°C - 300°C, polimerisasi sempurna dan terbentuklah struktur tiga dimensi yang leih kaku. Hal ini disebut endapan *setting thermal*. Sekali terbentuk produk dapat dikeluarkan dari cetakan tanpa menunggu pendinginan lebih lanjut.

Secara umum pembagian material polimer dapat dijelaskan di dalam tabel berikut :

**Tabel 2.1 Pembagian Material Polimer Secara Umum**

<b>Resin Termoplastik</b>	<b>Resin Termoset</b>
- Resin PVC	- Resin Fenol
- Resin Vinil Asetat	- Resin Urea
- Polivinil Format	- Resin Melamin
- Polivinilidewn klorid	- Resin Poliester

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polietilen</li> <li>- Polipropilen</li> <li>- Polistiren</li> <li>- Kopolimer Stilen</li> <li>- Resin Metakrilat</li> <li>- Poliamid</li> <li>- Polikarbonat</li> <li>- Resin Asetal</li> <li>- Fluorplastik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resin Epoksi</li> <li>- Resin Silikon</li> </ul>
--	---

Sumber : Tata Surdia, Shinroku Saito, “*Pengetahuan Bahan Teknik*” Pradya Paramita, 1992.

### 2.3.1 Karakteristik Bahan Polimer

Menurut Surdia dan Saito (1992:173) Karakteristik dan sifat – sifat khas dari polimer pada umumnya adalah sebagai berikut:

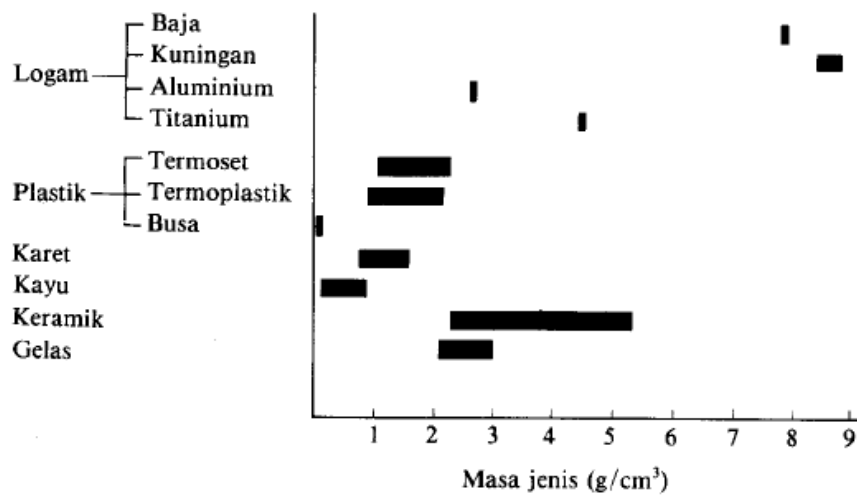
1. pencetakan yang mudah, pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi, yang menyebabkan ongkos pembuatan lebih rendah daripada untuk logam dan keramik.
2. Sifat produk yang ringan dan kuat, berat jenis polimer lebih rendah dibandingkan logam dan keramik, yaitu berkisar antara 1.0 – 1.7 yang memungkinkan membuat produk yang ringan dan kuat.
3. Kurang tahan terhadap panas, hal ini berbeda dengan logam dan keramik karena ketahanan panas pada polimer tidak sebaik logam dan keramik, pada penggunaannya harus diperhatikan.
4. Baik sekali dalam ketahanan air dan ketahanan zat kimia. Pemilihan bahan yang baik akan menghasilkan produk yang mempunyai sifat-sifat baik sekali.

5. Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang baik, polimer juga mungkin dibuat konduktor dengan cara menyampurkannya dengan serbuk logam, butiran karbon dan lainnya.
6. Umumnya bahan polimer lebih murah dari logam dan kulit.
7. Kekerasan permukaan yang sangat kurang, walaupun bahan polimer juga ada yang bersifat keras, namun masih di bawah logam dan keramik.
8. Kurang tahan terhadap pelarut, jika tidak dapat larut mudah retak karena kontak yang terus menerus dengan pelarut dan disertai adanya tegangan.
9. Beberapa bahan tahan terhadap abrasi, atau memiliki koefisien gesek yang kecil.

Dengan melihat beberapa sifat yang disebutkan di atas, maka sangat penting untuk memilih bahan yang cocok untuk digunakan.

### **2.3.2 Massa Jenis Bahan Polimer**

Dilihat dari segi biaya, massa jenis merupakan faktor yang sangat penting. Bagi bahan bermassa jenis rendah maka dengan volume yang sama diperoleh bahan dengan massa yang ringan dan lebih kuat. Massa jenis polimer jauh lebih rendah daripada logam ataupun keramik. Sifat ringan tersebut adalah salah satu sifat khas dari bahan polimer. Untuk lebih jelasnya diterangkan oleh tabel berikut ini :



**Gambar 2.3 Perbandingan Massa Jenis Bahan Industri**

Sumber Gambar: Tata Surdia, Shinroku Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik" Pradya Paramita, 1992.

### 2.3.3 Karakteristik Mekanik Polimer

Hal-hal yang termasuk ke dalam karakteristik mekanik suatu bahan antara lain:

- Kekuatan tarik
- Kekuatan tekan
- Kekuatan lentur
- Modulus elastisitas
- Modulus geser
- Kekerasan bahan

Parameter-parameter di atas diketahui dengan tujuan agar sifat material dapat diperkirakan secara akurat dan cermat. Menurut Arifianto (2008:7) Karakteristik mekanik yang penting untuk diketahui dari bahan polimer ini adalah:

1. Regangan sisa dari pencetakan terjadi waktu pemanasan, mudah menyebabkan retakan karena tegangan.
2. Terdapat beberapa bahan yang dapat mengatasi tegangan tarik sederhana dan pemelaran, tetapi tidak tahan terhadap kelelahan (fatigue) karena terjadi kombinasi beban antara penekanan dan penarikan.
3. Beberapa bahan polimer cenderung tahan dalam waktu singkat apabila dicelupkan ke dalam minyak, pelarut, dan sebagainya, namun apabila disertai tegangan dapat terjadi retak dan akhirnya putus.
4. Beberapa bahan polimer memiliki ketahanan impak relatif kecil. Akan tetapi, dewasa ini telah dikembangkan plastik yang mempunyai kekuatan impak tinggi seperti polikarbonat, poliasetal, dan sebagainya.

#### **2.3.4 Karakter Listrik Polimer**

Banyak bahan polimer yang baik sebagai isolator panas dan isolator listrik karena tahan terhadap medan listrik. Oleh karena itu, polimer sering digunakan sebagai isolator listrik. Karakteristik listrik suatu material dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa besaran listrik yang patut diketahui, seperti kekuatan hancur dielektrik/*dielectric breakdown* bahan isolasi dan tahanan isolasi.

#### 2.3.4.1 Kekuatan Hancur Dielektrik Bahan Isolasi

Sejauh mana isolator bisa bertahan terhadap tegangan listrik bergantung pada kekuatan hancur dielektrik. Tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya ini dinyatakan dengan rumus :

$$E = V_{bd} / h \quad (2.6)$$

$E$  = kekuatan hancur dielektrik (KV/mm)

$V_{bd}$  = tegangan tembus dielektrik/material isolasi (KV)

$h$  = dn untuk material polimer (mm)

$d$  = ketebalan (mm)

$n$  = konstanta dari keadaan yang diuji, tergantung dari macam benda uji ( $n = 0$  untuk tegangan arus searah dan  $n$  berkisar 0,3 sampai 0,5 untuk tegangan bolak-balik).

Kekuatan hancur dielektrik berubah banyak dipengaruhi lingkungannya. Kalau tegangan hancur dielektrik suatu media sekeliling isolator besar maka kekuatan hancur dielektriknya menjadi besar. Hal ini terjadi terutama pada arus bolak-balik. Kekutan hancur dielektrik dari bahan polimer pada umumnya berkurang kalau temperatur dinaikkan, demikian halnya terhadap kadar air. Selanjutnya pada tegangan AC untuk waktu yang lama, bahan dapat rusak walaupun tegangan rendah (Arifianto, 2008:8).

#### 2.3.4.2 Tahanan Isolasi

Pada pengertian yang sederhana, tahanan isolasi pada kabel adalah rasio dari tegangan yang diberikan pada kabel dibanding total arus yang mengalir diantaranya. Arus tersebut disebut dengan *leakage current*/ arus bocor. Untuk kabel koaksial, tahanan isolasinya adalah tahanan antara kulit isolasi dengan inti konduktor. Biasanya pengukuran tahanan isolasi (*insulation test*) dilakukan pada kabel dengan beberapa konduktor. Pada kasus demikian pengukuran dilakukan dengan mengukur antara konduktor yang satu dengan yang lainnya dan selubung isolasinya.

Nilai tahanan isolasi dari bagian dalam ruangan yang kering harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000 ohm per satu volt tegangan manual. Jika tegangan yang digunakan pada instalasi rumah 220 V, maka nilai tahanan yang diperlukan sebesar 220000 ohm.

Syarat tahanan isolasi: Berdasarkan PUIL 2011 (tabel .B.1) syarat pengujian tahanan isolasi adalah resistansi isolasi dari bagian instalasi dalam ruangan yang kering harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000 ohm per satu volt tegangan nominal dan bagian instalasi yang diukur adalah yang terletak diantara dua pengaman arus lebih dan yang terletak sesudah pengaman arus yang terakhir.

Tingginya tahanan isolasi mengindikasikan baiknya suatu sistem atau peralatan yang diukur dan dapat menghindari gangguan pada sistem/peralatan. Kebocoran arus dan tahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh kelembaban ruangan, terutama jika kelembabannya lebih dari 40%. Pada keadaan demikian perlu dilakukan



pengukuran berkali-kali dengan nilai kelembaban yang tidak jauh berbeda sebagai perbandingan dan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Menurut katalog *Transcat: Basic Insulation Testing Methode and Instrument* terdapat 3 langkah dasar dalam pengukuran tahanan isolasi, yaitu:

1. Pengukuran dengan waktu singkat

Pada pengukuran ini, waktu operasi tidak boleh terlalu lama, biasanya sekitar 60 detik (yang dianjurkan).

2. Pengukuran dengan waktu lama (tes penyerapan)

Pengukuran dengan metode ini dilakukan selama 2, 5, atau 10 menit untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

3. Pengukuran dengan tegangan bertingkat

Pengukuran dilakukan dari pengukuran dengan tegangan 250 V, kemudian 500 V, dan 1000 V.

Pengukuran tahanan isolasi kabel secara berkala dimaksudkan untuk menjaga tahanan isolasi kabel tetap tinggi sehingga performa kabel akan tetap baik. Kabel haruslah bersih dan kering, dan terlindung dari gangguan mekanis seperti getaran, abrasi, luka pada isolasi; debu, kotoran, minyak/lemak, oli, dan kontaminan lainnya.

Transisi dari kondisi isolasi yang baik sampai hangusnya isolasi merupakan saat turunnya tahanan isolasi, karena pada fase tersebut beberapa nilai-nilai parameter dan karakteristiknya berubah terhadap temperatur, seperti kekuatan hancur dielektrik

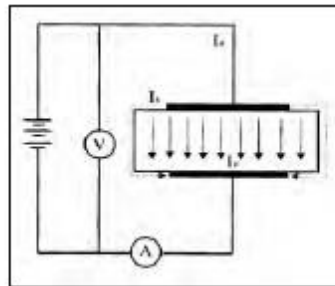
dan lain-lain. Sebagai contoh, kekuatan hancur dielektrik akan menurun jika temperatur naik. Hal tersebut menyatakan bahwa pada temperatur yang tinggi, akan semakin besar arus yang dapat menembus isolasi, karena itu semakin rendahlah tahanan isolasinya.

Jika suatu dielektrik diberi tegangan searah maka arus yang mengalir pada dielektrik terdiri atas 2 komponen, yaitu :

- a. Arus yang mengalir pada permukaan dielektrik (arus permukaan  $I_s$ ).
- b. Arus yang mengalir melalui volume dielektrik (arus volume  $I_v$ ).

Sehingga arus sumber dapat dituliskan :

$$I_a = I_s + I_v \quad (2.7)$$

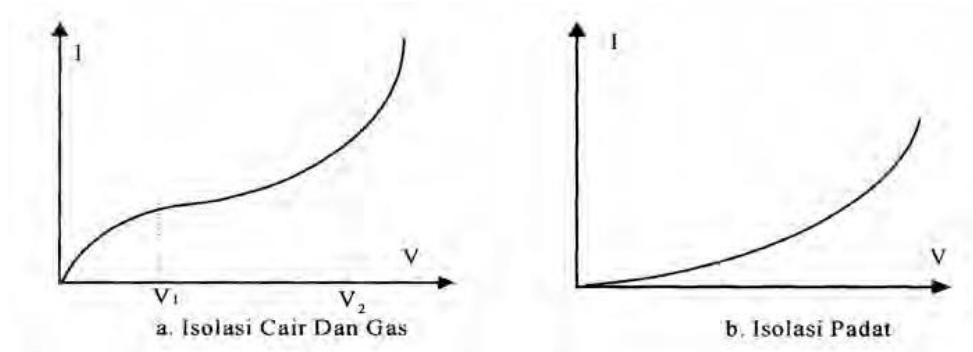


**Gambar 2.4 Arus Pada Suatu Dielektrik**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi. Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Hambatan yang dialami arus permukaan disebut tahanan permukaan ( $R_s$ ), sedang hambatan yang dialami arus volume disebut hambatan volume ( $R_v$ ). Hasil tahanan isolasi tergantung pada besar dan polaritas tegangan pengukuran serta jenis

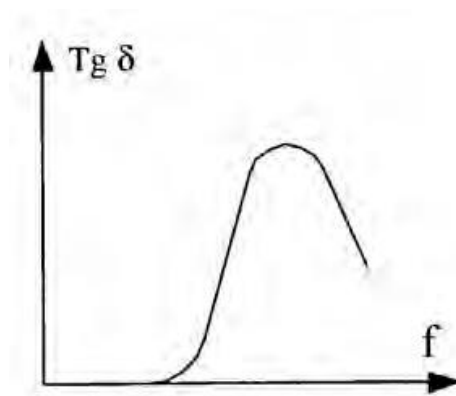
bahan isolasi. Gambar 2.5 menunjukkan pengaruh tegangan terhadap tahanan isolasi, masing-masing untuk bahan isolasi padat, cair dan gas.



**Gambar 2.5 Pengaruh Tegangan Terhadap Tahanan Isolasi**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi.Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Suatu faktor yang disebut faktor titik lemah, yaitu perbandingan tahanan pada tegangan  $V_1$  dengan tahanan pada tegangan  $V_2$ , dimana  $V_2$  lebih tinggi dari  $V_1$ . Jika faktor titik lemah semakin besar merupakan pertanda bahwa isolasi semakin buruk. Akibat adanya arus absorpsi, maka hasil pengukuran tergantung juga pada waktu pengukuran. Gambar 2.6 ditunjukkan perubahan tahanan isolasi terhadap waktu.



**Gambar 2.6 Tahanan vs Waktu**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi. Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Perbandingan tahanan pada saat 1 menit dan 10 menit disebut indeks polarisasi:

$$\alpha_p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} \quad (2.8)$$

Tahanan dielektrik juga tergantung pada temperatur, kelembaban dan bentuk elektroda uji. Oleh karena itu, semua kondisi harus dicantumkan pada hasil pengujian.

### **2.3.5 Sifat Termal Polimer**

Sifat khas bahan polimer dapat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah struktur terutama struktur yang berdimensi besar (Surdia dan Saito 1992:2). Selanjutnya karena panas, oksigen dan air bersama-sama memancing reaksi

kimia pada molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, hidrolisasi, dan seterusnya yang lebih hebat terjadi pada temperatur tinggi. Keadaan tersebut jelas akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik, listrik, dan kimia.

### 2.3.5.1 Panas Jenis

Panas jenis bahan polimer kira-kira 0,25-0,55 cal/g/°C yang lebih besar dibandingkan dengan bahan logam, juga lebih besar dibandingkan dengan keramik. Hal ini disebabkan karena panas jenis adalah panas yang diperlukan untuk pergerakan termal dari molekul-molekul dalam strukturnya, sedangkan energi kinetik termal molekul lebih besar dari energi relaksasinya kisi kristal. Tabel 2.2 menunjukkan panas jenis beberapa bahan polimer. Perbedaan pada harga panas jenis tergantung pada perbedaan komposisi.

**Tabel 2.2 Panas Jenis Bahan Polimer**

<b>Polimer</b>	<b>Panas Jenis(cal/°C)</b>
Polietilen	0,55
Polipropilen	0,46
Polistiren	0,32
ABS	0,3-0,4
Polivinil klorida	0,2-0,3
Polikarbonat	0,3
Poliamid	0,4
Polimetil metakrilat	0,35
Politetrafluoroetilen	0,25
Poliasetal	0,35

Sumber : Tata Surdia, Shinroku Saito, *“Pengetahuan Bahan Teknik”* Pradya Paramita, 1992.

#### **2.3.5.2 Koefisien Hantaran Termal**

Koefisien hantaran termal adalah harga yang penting bagi bahan polimer sehubungan dengan panas pencetakan dan penggunaan produknya. Menurut Surdia dan Saito (1992:194) Mekanisme penghantar panas pada bahan polimer juga merupakan akibat propagasi panas dari pergerakan molekul. Cara terjadinya formasi kristal dengan adanya daerah amorf dan seterusnya. Pada dasarnya berbeda dengan bahan logam dan keramik. Kira-kira  $10^{-3} - 10^{-5}$  (cal/detik/cm<sup>2</sup>/°C/cm).

Data mengenai koefisien hantaran termal bagi bahan polimer lebih sedikit karena pengukurannya yang agak sukar dilakukan. Bahan Polimer sering diproses untuk menghasilkan bahan isolasi panas. Menurut Surdia dan Saito (1992:194) Koefisien hantaran termal berubah karena gelembung-gelembung di dalam busa berhubungan atau bebas satu sama lain, macam gas dalam gelembung, ukuran gelembung, fraksi volume, dan seterusnya. Kalau masa jenisnya kecil, yaitu kalau volume gas busa besar, koefisien hantaran termal kecil maka akan memberikan pengaruh isolasi termal lebih besar.

#### **2.3.5.3 Titik Tahan Panas**

Jika temperatur bahan polimer naik, pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi, yang menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah, sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar. Bersamaan dengan

itu, sifat listrik, ketahanan volume dan tegangan putus dielektrik menjadi lebih kecil dan pada umumnya konstanta dielektrik menjadi besar (Surdia dan Saito, 1992:194). Jika temperatur melewati titik transisi, bahan termoplastik seperti karet menjadi lunak, dan selain perubahan pada sifat-sifat diatas modulus elastiknya juga tiba-tiba berubah. Selanjutnya, pada temperatur tinggi bahan kristal, kristalnya meleleh dan dapat mengalir.

Sangat sukar untuk mengukur ketahanan panas bahan polimer pada temperatur tinggi, sebab banyak sekali faktor yang akan memberikan pengaruh tertentu seperti keadaan lingkungan, bentuk bahan, macam dan jumlah pengisi, adanya bahan penstabil, dan seterusnya. Lamanya waktu berada pada temperatur tinggi juga merupakan persoalan. Dalam waktu yang singkat pada temperature tinggi tidak memberikan perubahan banyak, tetapi dalam temperatur rendah dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan kerusakan. Jadi persyaratan tertentu perlu dipertimbangkan untuk bahan tertentu, misalnya sampai sejauh mana degradasi termal dapat merusak fungsi tertentu suatu bahan. Untuk mudahnya, temperatur ketahanan panas yang dipakai untuk waktu lama dinyatakan dalam tabel 2.3.

**Tabel 2.3 Ketahanan Panas Polimer**

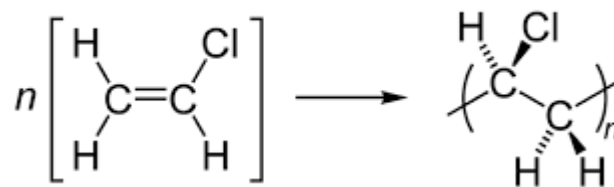
Polimer	Ketahanan panas(°C)
Polietilen(masa jenis rendah)	80-100
Polietilen(masa jenis medium)	105-120
Polistiren	65-75
Polivinil klorida	65-75
Resin fenol	150
Resin melamin	160

Resin Urea	90
Polietilen(masa jenis tinggi)	120
Polipropilen	120
Polikarbonat	120
Poliamid	80
Polisulfon	100

Sumber : Tata Surdia, Shinroku Saito, “*Pengetahuan Bahan Teknik*” Pradya Paramita,1992.

### 2.3.6 Polivinil Klorida (PVC)

PVC atau Polivinil Klorida termasuk dalam jenis polimer termoplastik/resin termoplastik. PVC memiliki rumus kimiawi sebagai berikut.



**Gambar 2.7 Rumus Kimiawi PVC**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi.Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Sifat dan karakteristik dari PVC adalah sebagai berikut :

1. Muai panjang =  $7-25 \text{ } ^\circ\text{C} \times 10^{1-5}$
2. Panas jenis =  $0,2-0,3 \text{ cal } ^\circ\text{C}$
3. Ketahanan panas =  $65^\circ\text{C} -75^\circ\text{C}$
4. Berat jenis =  $1390 \text{ kg/m}^3$
5. Modulus Young (E) =  $2900-3300 \text{ MPa}$



6. Kekuatan Tarik ( $\sigma_t$ ) = 50-80 MPa
7. Pemuluran saat putus = 20-40%
8. Temperatur gelas = 82°C
9. Titik lebur = 100°C –260°C
10. Koefisien hantar panas ( $\lambda$ ) = 0.16 W/(m·K)
11. Energi pembakaran = 17.95 MJ/kg
12. Penyerapan air (ASTM) = 0.04-0.4
13. Permittivitas = 3.4-10 (umumnya 6)
14. Mengandung kira-kira 55% klorin.
15. Memiliki ketahanan kimiawi yang sangat baik (tidak bereaksi) terhadap asam dengan konsentrasi tinggi ataupun konsentrasi rendah.
16. Memiliki ketahanan kimiawi yang cukup baik (bereaksi sedikit) dengan minyak nabati dan oksidan.
17. Memiliki ketahanan kimiawi yang terbatas (bereaksi normal dan hanya bisa untuk waktu yang sebentar) dengan aldehida.
18. Memiliki ketahanan kimiawi yang buruk (tidak disarankan untuk penggunaan) dengan aldehida, ester, aromatik dengan hidrokarbon berhalogen, dan keton.

19. Memiliki kecenderungan untuk kehilangan elastisitas dibawah tekanan terus-menerus.

Untuk penggunaan pada tegangan rendah, PVC banyak digunakan sebagai isolasi dan jaket dari kabel. Karena PVC adalah bahan termoplastik, PVC tidak dapat menahan panas yang terlalu tinggi. Pada suhu tinggi PVC dapat meleleh bahkan hangus atau plasticizersnya menguap sehingga PVC menjadi rapuh. Hal tersebut dapat menyebabkan kegagalan insulasi kabel. Karena alasan tersebut kabel dengan isolasi PVC jarang digunakan di tempat yang mendapatkan panas secara berlebihan. Kabel PVC pada saat terbakar akan menghasilkan gas klorin dalam jumlah yang cukup besar. Hal tersebut merupakan masalah yang cukup penting pada penggunaan kabel dengan isolasi PVC. Pada kabel NYY 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> dengan tegangan pengenalan 0,6/1 kV PVC digunakan sebagai isolasi dan selubung dalam dan luar kabel.

## **2.4 Kabel dan Penghantar**

Menurut Setiabudy (2007: 12) Salah satu kemungkinan terjadinya kebakaran karena listrik adalah karena kegagalan isolasi kabel listrik. Kegagalan isolasi ini dapat diakibatkan karena sifat-sifat elektris, mekanis, dan termal dari bahan isolasi yang tidak memenuhi persyaratan/standar yang telah ditetapkan. Selain itu kenaikan suhu yang terjadi tidak boleh melampaui batas standarnya, karena semakin tinggi suhunya akan memanaskan daerah sekelilingnya yang mempercepat proses terjadinya penyulutan api ( Thue, 1999: 23).

### 2.4.1 Jenis Kabel dan Penghantar

Bahan penghantar untuk kabel listrik digunakan tembaga atau aluminium. Menurut Dananto (2004:21) Tembaga yang digunakan untuk penghantar kabel umumnya adalah tembaga elektrolisis dengan kemurnian minimum 99.9% dan tahanan jenis tidak melebihi  $1/58 = 0,017241 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$  pada  $20^\circ\text{C}$ . Daya hantar tembaga sangat dipengaruhi ketidakmurnian. Campuran besi 0,02% akan meningkatkan tahanan jenis tembaga kurang lebih 10%. Tembaga lunak memiliki kekuatan tarik  $195\text{-}245 \text{ N/mm}^2$  dengan daya hantar 100%. Sedangkan tembaga keras  $390\text{-}440 \text{ N/mm}^2$  jadi daya hantarnya 3%, dibawah tembaga lunak. Aluminium yang dibakukan sekurang-kurangnya mempunyai kemurnian 99,5% dengan tahanan jenis  $0,028264 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$  pada suhu  $20^\circ\text{C}$  (sama dengan daya hantarnya yaitu 61 % dari tembaga). Adapun kekuatan tarik pada daya hantar tersebut untuk aluminium lunak  $60\text{-}70 \text{ N/mm}^2$  sedangkan untuk aluminium keras  $150\text{-}195 \text{ N/mm}^2$ .

Untuk memudahkan dalam membedakan dan mengelompokkan jenis kabel, maka dibuat suatu standar kode pengenalan kabel untuk ditampilkan pada label pengenalan kabel. Dengan kode pengenalan kabel ini, dapat langsung diketahui jenis, bentuk dan konstruksi penghantar kabel, serta jenis dan susunan isolasi dari kabel tersebut. Pada Perusahaan PT PLN (SPLN) 42-2 (1992:2) Beberapa kode pengenalan kabel yang digunakan antara lain:

- N : Kabel standar dengan inti tembaga
- NA : Kabel standar dengan aluminium sebagai penghantar
- Y : Untuk kabel berisolasi atau berselubung PVC
- G : Untuk kabel berisolasi karet
- A : Untuk kawat berisolasi
- M : Untuk beban mekanis sedang atau selubung PVC
- F : Untuk kabel dengan perisai kawat baja pipih
- R : Untuk kabel dengan perisai kawat baja bulat
- Gb : Untuk kabel dengan spiral pita baja
- B : Pita baja
- I : Untuk isolasi tetap diluar jangkauan tangan
- re : Untuk kabel dengan penghantar padat bulat
- rm : Untuk kabel dengan penghantar bulat kawat banyak
- se : Untuk kabel dengan penghantar padat bulat sektor
- sm : Untuk kabel dengan penghantar kawat banyak bentuk sektor
- f : Penghantar halus dipintal bulat
- ff : Penghantar sangat fleksibel
- Z : Penghantar Z
- D : Penghantar 3 jalur yang ditengah sebagai pelindung
- H : Kabel untuk alat penggerak
- rd : Inti dipilih bentuk bulat
- fe : Inti pipih
- -1 : Kabel dengan sistem pengenalan warna urat dengan hijau-kuning
- -0 : Kabel dengan sistem pengenalan warna urat tanpa hijau-kuning.

Jadi misalnya :

NYHGbY 4 x 100 mm<sup>2</sup> / 0,6 / 1 kV Artinya kabel tersebut memiliki ketentuan sebagai berikut :

N : Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

Y : Mempunyai isolasi PVC

H : Kabel untuk alat penggerak

Gb : Kawat pita baja (Perisai)

Y : Berisolasi PVC bagian luar

4x : Mempunyai 4 saluran merah-kuning-biru-hitam

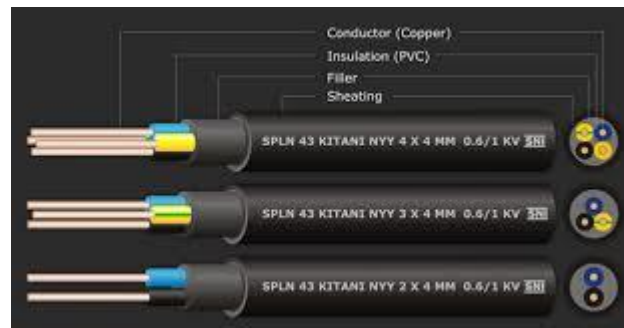
100 mm<sup>2</sup> : Tiap saluran berpenampang masing-masing 100 mm<sup>2</sup>

0,6 / 1 kV : Arus yang diijinkan pada tegangan 600 Volt dan Arus maksimal pada tegangan 1000 Volt.

Penggolongan kabel sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik dalam instalasi digolongkan sebagai berikut :

#### 1. Kabel instalasi tetap.

Kabel ini adalah kabel yang lazim digunakan untuk instalasi perumahan atau perkantoran. Semua alat kontak listrik yang terpasang pada kabel jenis ini tidak bisa dipindahkan apabila diperlukan. Kabel dengan kode NYY termasuk jenis kabel ini.



**Gambar 2.8 Kabel Instalasi Tetap**

Sumber Gambar : Kabel Metal Indonesia. (2009)

## 2. Kabel fleksibel.

Kabel ini merupakan kabel jenis baru. Stop kontak yang terpasang pada kabel ini bisa dipindahkan sepanjang kabel tersebut apabila diperlukan. Jadi pengertian fleksibel disini bukan hanya mudah dibengkokkan.



**Gambar 2.9 Kabel Fleksibel**

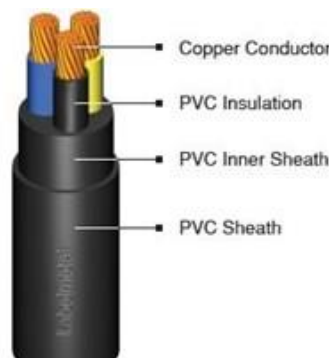
Sumber Gambar : Kabel Metal Indonesia. (2009)

### 2.4.2 Kabel NYY

Konstruksi NYY dapat dilihat pada gambar 2.10. Susunan NYY sama dengan susunan NYM. Hanya tebal isolasi dan selubung luarnya serta jenis kompon PVC

yang digunakan berbeda. Warna selubung luarnya hitam. Untuk kabel tegangan rendah, tegangan nominalnya 0,6/1 kV, dimana 0,6 adalah tegangan nominal terhadap tegangan tanah dan 1 kV adalah tegangan nominal antar penghantar. Uratnya dapat berjumlah satu sampai dengan lima. Luas penampang penghantarnya dapat mencapai 240 mm<sup>2</sup> atau lebih.

Diameter luar kabel dengan dua urat atau lebih dengan luas penampang penghantar besar, akan menjadi besar sekali jika digunakan penghantar-penghantar bulat. Karena itu, untuk ukuran-ukuran besar umumnya mulai 50 mm<sup>2</sup> keatas digunakan bentuk penghantar *sektor*. Berdasarkan SNI IEC 60502-1 (2009:9) Penggunaan kabel NYY adalah sebagai instalasi industri didalam gedung maupun alam terbuka, disalurkan kabel dan dalam lemari hubung-bagi, apabila dapat diperkirakan tidak akan ada gangguan mekanis. NYY dapat juga ditanam didalam tanah, asalkan diberi perlindungan secukupnya terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis. Sedangkan NAPP memiliki penghantar aluminium, selebihnya jenis kabel ini sama dengan jenis kabel NYY beserta penggunaanya.






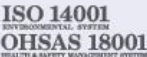
**Gambar 2.10 Kabel Jenis NYY**  
 Sumber Gambar : Kabel Metal Indonesia. (2009)

Untuk Kemampuan Hantar Arus (KHA) kabel NYY dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

### Electrical Data

Nom. Cross Sect.  (mm <sup>2</sup> )	Conductor		Inductance  (mH/km)	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec  Max. (kA)
	DC Resistance at 20°C  Max. (Ω/km)	AC Resistance at 70°C  Max. (Ω/km)		in air  Max. (A)	in ground  Max. (A)	
1.5	12.1	14.478	0.328	20	23	0.17
2.5	7.41	8.866	0.304	26	31	0.29
4	4.61	5.516	0.303	34	40	0.46
6	3.08	3.685	0.288	44	50	0.69
10	1.83	2.190	0.269	60	68	1.15
16	1.15	1.376	0.255	79	88	1.84
25	0.727	0.870	0.255	105	114	2.88
35	0.524	0.627	0.246	129	137	4.03
50	0.387	0.464	0.247	162	168	5.75
70	0.268	0.321	0.238	203	206	8.05
95	0.193	0.232	0.238	250	247	10.93
120	0.153	0.184	0.233	289	281	13.80
150	0.124	0.150	0.233	330	315	17.25
185	0.0991	0.121	0.233	381	356	21.28
240	0.0754	0.093	0.232	451	412	27.60
300	0.0601	0.075	0.231	517	464	34.50
400	0.0470	0.060	0.229	594	524	41.20

\* Further information about rating factor for certain cable arrangement can be found on supplementary technical information

www.kmi.co.id

PT KMI Wire and Cable Tbk reserves the right to change the data content without prior notification

14233-03 Rev. 2.0 / 2009

**Gambar 2.11 Kemampuan Hantar Arus Kabel NYY**  
Sumber Gambar : Kabel Metal Indonesia. (2009)

### 2.4.3 Kemampuan Hantar Arus ( KHA )

Menurut Perusahaan Umum Instalasi Listrik ( PUIL) 2000 ( 2000:10 ) Pada setiap kabel instalasi listrik tentunya memiliki penghantar yang umumnya terbuat dari logam yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari sumber listrik ke peralatan yang membutuhkan energi listrik. Arus maksimum yang dapat dialirkan



dengan kontinu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu disebut sebagai Kemampuan Hantar Arus.

Menurut Sutrisno, dkk ( 2013:22 ) Pemanfaatan listrik harus memperhatikan spesifikasi atau kemampuan dari setiap peralatan yang digunakan terutama kabel, karena pemakaian arus berlebih pada kabel dapat menyebabkan kabel menjadi panas dan apabila hal itu di biarkan akan membuat kabel meleleh dan memicu terjadinya kebakaran, sebagai contoh kabel yang memiliki KHA sebesar  $x$  ampere dialiri arus sebesar  $2x$  ampere maka kabel tersebut menerima beban berlebih.

Menurut buku 1 PT PLN tentang kriteria desain enjiniring konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik ( 2010:9 ) Kemampuan Hantar Arus suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada konstruksi penghantar tersebut yaitu :

1. Temperatur lingkungan
2. Jenis penghantar
3. Temperatur lingkungan awal
4. Temperatur penghantar akhir
5. Batas kemampuan termis isolasi
6. Faktor tiupan angin

#### **2.4.4 Tegangan Pengenal**

Menurut Perusahaan Umum Instalasi Listrik ( PUIL) 2000 ( 2000:18 ) tegangan pengenal suatu system atau gawai adalah tegangan yang di syaratkan oleh suatu

instalasi atau oleh bagian daripadanya, tegangan pengenalan boleh melebihi tegangan nominal ( nilai tegangan untuk mengidentifikasi suatu sistem atau gawai ) sebesar toleransi yang diberikan, tegangan pengenalan merupakan tegangan yang mendasari dalam pembuatan perlengkapan listrik ( *Rated Voltage* ), dan tegangan pengenalan pada kabel dibedakan pada tingkatan sebagai berikut :

1. Kabel Tegangan Rendah : 230/400 V; 300/500 V; 400/690 V; 450/750 V dan 0,6/1 kV.
2. Kabel Tegangan Menengah : 3,6/6 kV; 6/10 kV; 8,7/15 kV; 12/20 kV dan 18/30 Kv.

## **2.5 Karakteristik Termal Pada Kabel**

Menurut Callister (2007:723) Karakteristik termal merupakan respon dari suatu material ketika diberikan panas. Dari pengertian tersebut dapat diartikan bahwa karakteristik termal pada kabel adalah respon atau sifat dari kabel ketika kabel tersebut menerima panas baik yang dihasilkan dari kerja normal maupun pada kondisi mengalirkan arus lebih.

Kabel dirancang dengan berbagai macam konstruksi sesuai dengan kebutuhannya. Pada bagian ini akan dibahas konstruksi kabel khusus untuk tegangan pengenalan 0,6/1 kV berisolasi dan berselubung PVC. Berdasarkan SNI IEC 60502-1 Konstruksi dari kabel jenis ini dapat dibagi menjadi 4 bagian sebagai berikut:

### 1. Konduktor

Merupakan bagian dari kabel yang bertegangan dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik. Umumnya tidak berupa satu hantaran pejal, tetapi kumpulan kawat yang dipilin agar lebih fleksibel (di atas  $10 \text{ mm}^2$ ). Bahan yang digunakan adalah tembaga atau aluminium. Bentuk penampangnya bisa bulat tanpa rongga, bulat berongga, maupun bentuk sektoral.

### 2. Bahan isolasi

Isolasi suatu kabel merupakan bahan yang berfungsi untuk menahan tekanan listrik sehingga energi listrik tidak bocor kemana-mana. Terdapat berbagai jenis bahan isolasi yang umumnya dikelompokkan menjadi bahan isolasi cair, isolasi gas, dan isolasi padat. Dalam kabel ini jenis pembungkus yang digunakan adalah PVC .

### 3. Lapisan pembungkus inti

Untuk tegangan kerja yang tinggi, setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut lapisan pembungkus inti, yang terbuat dari bahan semi konduktif. Lapisan tersebut berfungsi untuk:

1. Meratakan distribusi medan listrik sehingga tidak terjadi penimbunan tegangan.
2. Untuk mengamankan manusia dari bahaya listrik.
3. Untuk menahan radiasi medan elektromagnetik.

#### 4. Selubung

Lapisan ini berfungsi sebagai pelindung inti kabel dari pengaruh luar, pelindung terhadap korosi, pelindung terhadap gaya mekanis dan gaya listrik, maupun sebagai pelindung terhadap masuknya air atau uap air. Bahan yang digunakan adalah logam, seperti timbal atau aluminium, maupun bahan sintetis seperti karet silikon dan PVC.

#### 2.5.1 Sumber Pemanasan Pada Kabel

Pemanasan yang terjadi pada kabel berasal dari arus listrik yang menyebabkan losses atau rugi-rugi yang terjadi di dalam kabel (Surdia dan Saito, 1985:198). Sumber-sumber pemanasan tersebut adalah sebagai berikut.

##### 2.5.1.1 Rugi – Rugi Konduktor

Sumber panas utama yang terjadi pada suatu kabel tenaga adalah rugi-rugi yang terjadi pada konduktor karena adanya resistansi. Resistansi konduktor dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.9)$$

Dimana :

$\rho$  = resistivitas atau hambatan jenis logam [ $\Omega/m$ ]

$l$  = Panjang konduktor [m]

$A$  = luas penampang konduktor [ $m^2$ ]

Sedangkan Menurut Moore (1997: 125) nilai resistivitas konduktor dipengaruhi oleh temperatur kerja dari konduktor itu sendiri yang dinyatakan pada persamaan berikut.

$$R_T = R_{28} [ 1 + \alpha_{28} ( T - 28^0 ) ] \quad (2.10)$$

Dimana:

$R_T$  = Hambatan pada temperatur  $T^0C$

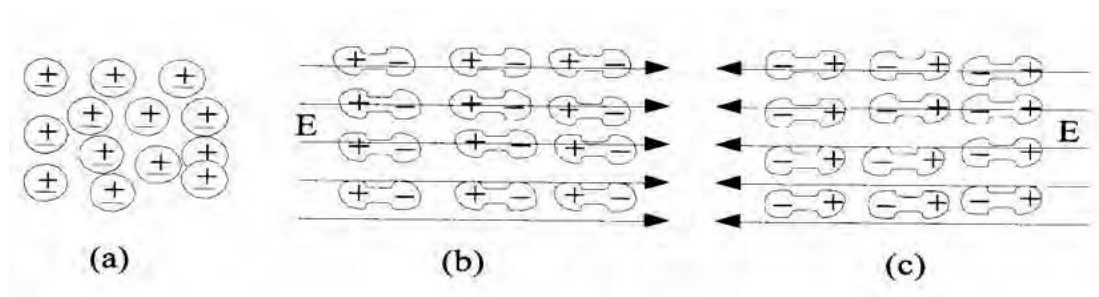
$R_{28}$  = Hambatan pada temperatur  $28^0 C$  (Ohm/ $^0C$ )

$\alpha_{28}$  = koefisien temperatur resistivitas

$T$  = Temperatur Kerja ( $^0C$ )

### 2.5.1.2 Rugi – Rugi Dielektrik

Menurut Tobing (2012:29) Rugi-rugi dielektrik adalah rugi-rugi yang terjadi pada bahan isolasi akibat ketidakidealan bahan isolasi. Suatu bahan dielektrik terdiri dari susunan molekul-molekul, dimana elektron-elektron terikat kuat dengan inti atomnya. Susunan molekul suatu dielektrik yang bebas dari medan elektrik luar tidak beraturan seperti ditunjukkan pada gambar 2.12.



**Gambar 2.12 Dampak Medan Elektrik Terhadap Molekul Dielektrik**

Sumber Gambar: Arifianto. Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi. Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. FT-UI, 2008.

Bila dielektrik dikenai medan elektrik, maka elektron-elektron akan mengalami gaya yang arahnya berlawanan dengan arah medan elektrik, sedang inti atom yang bermuatan positif akan mengalami gaya searah dengan arah medan elektrik. Gaya ini akan memindahkan elektron dari posisi semula, sehingga molekul-molekul berubah menjadi dipol-dipol yang letaknya sejajar dengan medan elektrik seperti ditunjukkan gambar 2.12.b suatu dielektrik yang molekul-molekulnya berubah menjadi dipol, disebut terpolarisasi.

Jika medan elektrik berubah arah, maka gaya pada muatan-muatan dipol akan berubah arah membuat dipol berputar 180 seperti ditunjukkan pada gambar 2.12.c. Rugi-rugi dielektrik hanya terjadi pada medan elektrik bolak-balik, yaitu medan yang ditimbulkan tegangan bolak-balik. Jika frekuensi tegangan makin tinggi, maka frekuensi gesekan antar molekul akan meningkat. Akibatnya rugi-rugi dielektrik semakin besar. Tetapi, jika frekuensi sangat tinggi, maka perubahan posisi dipol hanya sedikit, karena molekul hanya segera kembali ke posisi semula.

## **2.6 Pengujian Kabel listrik**

Kegagalan sistem isolasi kabel pada peralatan instalasi listrik akan menimbulkan kerugian yang besar bagi penggunaanya. Menurut Tobing ( 2012:25 ) setiap bahan isolasi peralatan instalasi listrik harus memiliki karakteristik termal sebagai berikut :

1. Daya tahan panasnya tinggi
2. Tidak berubah bentuk pada temperatur tinggi

3. Konduktivitas panas tinggi
4. Koefisien muai panas rendah
5. Tidak mudah terbakar
6. Tahan terhadap busur api

Pemakaian kabel yang melebihi kemampuannya tentu akan menimbulkan efek kerusakan pada kabel tersebut, sehingga diperlukan pengujian tentang kabel untuk mengetahui karakteristik termal dari suatu kabel jika diberikan arus melebihi kemampuan kabel tersebut.

#### **2.6.1 Standar Pengujian Kabel Listrik**

Standar pengujian internasional untuk kabel adalah IEC. Pada IEC 60227-2 (2003:5) dijelaskan bahwa *International Electrotechnical Commission* (IEC) adalah sebuah organisasi diseluruh dunia untuk suatu standarisasi, IEC terdiri dari seluruh komite elektronik nasional (IEC Komite nasional). Tujuan dari IEC adalah untuk mempromosikan kerjasama internasional tentang standarisasi bidang listrik dan elektronik. Untuk tujuan tersebut dan disamping kegiatan lainnya , IEC menerbitkan standar internasional, spesifikasi teknis dan laporan teknis atau panduan.

Standar internasional untuk spesifikasi kabel berisolasi PVC dengan tegangan pengenal 0.6/1 kV adalah SNI IEC 60502-1.

## 2.7 Penelitian Yang Relevan

Sejauh pengetahuan penulis, dari berbagai literatur yang penulis baca terdapat penelitian yang relevan dengan penelitian yang penulis lakukan, diantaranya :

Penelitian yang dilakukan oleh Brian Cakra (2009:54) yang berjudul Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC dengan Tegangan Pengenal 300/500 Volt. Penulis menyimpulkan bahwa jika kabel diberikan arus melebihi KHA-nya (diatas 19 A pada suhu ruang  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ) maka panas yang timbul pada konduktor akan membesar dan kemudian memiliki tendensi untuk merusak/melelehkan/menghanguskan isolasi kabel. Waktu yang dibutuhkan untuk membuat kabel memiliki nilai tahanan isolasi hampir 0 ohm sejak kabel tersebut mulai mengalami penurunan tahanan isolasi adalah 40 detik jika panas terus mengalir dan membesar pada konduktor. Apabila arus kerja yang mengalir adalah 13,3 A kemudian panas terus mengalir dan membesar pada konduktor, maka dibutuhkan waktu 69-71 detik untuk membuat kabel memiliki nilai tahanan isolasi hampir 0 ohm.

Penelitian yang dilakukan oleh Arifianto (2008:51) yang berjudul Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. Penulis menyimpulkan kabel yang tidak sesuai standar memiliki ketahanan panas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kabel yang sesuai standar. Pada nilai arus yang sama, temperatur yang dicapai oleh kabel non standar lebih tinggi jika dibandingkan dengan kabel yang sesuai standar sehingga isolasinya lebih mudah mengalami kerusakan.



Kemudian Pada nilai arus yang sama, kabel yang ditekuk memiliki temperatur maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan kabel yang lurus. Distribusi temperatur disepanjang kabel yang ditekuk tidaklah merata, dimana temperatur yang paling tinggi terukur pada bagian yang ditekuk. Semakin tinggi arus yang diberikan, maka semakin cepat isolasi kabel mengalami kerusakan. Kondisi dimana isolasi kabel mulai meleleh berbeda-beda untuk tiap kabel. Untuk kabel yang lurus, isolasinya mulai meleleh pada arus 56 A. Pada kabel yang ditekuk, isolasinya mulai meleleh pada arus 54 A. Sedangkan untuk kabel yang tidak memenuhi standar, isolasinya mulai meleleh pada arus 30 A.

Dari kedua penelitian di atas terdapat kesamaan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis yaitu terkait pengujian karakteristik termal kabel dengan pengujian menggunakan penginjeksian arus . Oleh karena itu penulis dalam penelitian ini ingin mengetahui ketahanan termal kabel NYY yang digunakan pada instalasi listrik luar ruangan dengan standar SNI IEC 60502-1 dan membandingkan dengan kabel yang digunakan pada instalasi listrik luar ruangan namun tidak standar SNI IEC 60502-1. Dalam penelitian ini penulis menggunakan permisalan untuk penyebutan kabel, kabel standar SNI IEC 60502-1 disebut kabel A dan kabel tidak standar SNI IEC 60502-1 disebut kabel B.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk pengujian karakteristik termal pada kabel isolasi dan berselubung PVC jenis NYY 3x1,5 mm<sup>2</sup> untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan (*outdoor*) ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Tegangan Rendah (Tera) PT. PLN (Persero) Area Tanjung Priuk, Jalan Yos Sudarso Kav 85, RT.10 RW.11 Sunter Jaya, Tanjung Priuk, Kota Jakarta Utara, DKI Jakarta. Rentang waktu pengujian dilakukan pada tanggal 3 Mei 2017 sampai 3 Juni 2017. Dasar pemilihan tempat pengujian ini dikarenakan terdapat fasilitas alat uji yang memadai sehingga dapat memperlancar kegiatan pengujian.

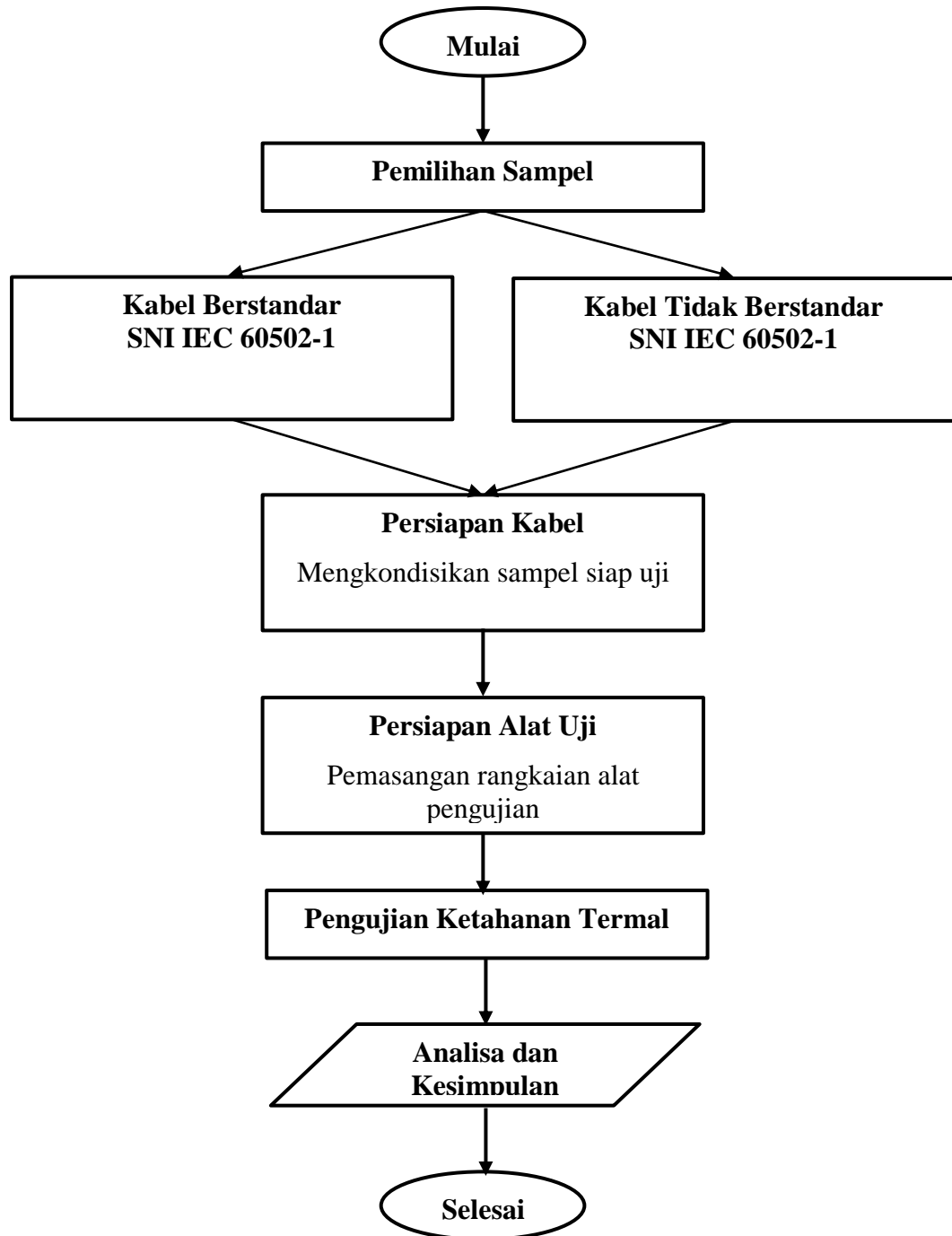
#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk menunjang penelitian ini, maka diperlukan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian**

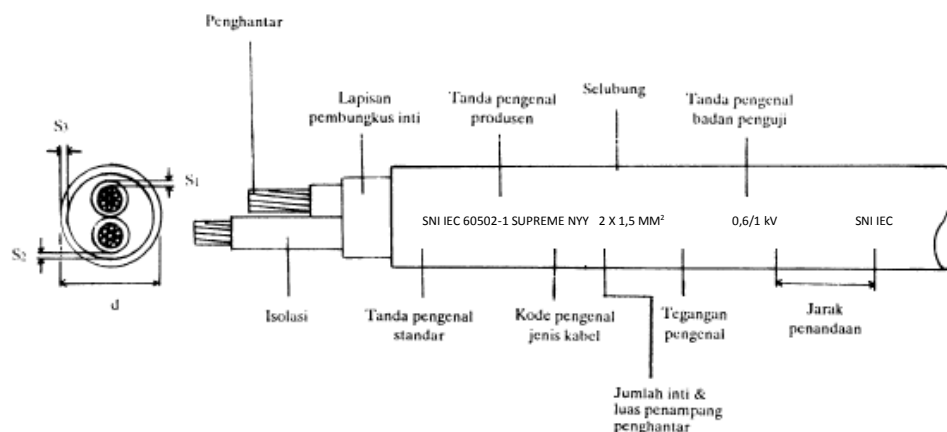
Alat	Bahan
1. Jangka Sorong	1. Kabel NYY 3x1,5 mm <sup>2</sup>
2. Meteran	Berstandar SNI IEC 60502-1
3. Tang Potong	
4. <i>Thermocouple Type -K</i>	2. Kabel 3x1,5 mm <sup>2</sup> Tidak
5. Penyangga Kabel	Berstandar SNI IEC 60502-1
6. <i>Stopwatch</i>	
7. Perekam Video	
8. <i>Primery Injection Test Set</i> LET 400 RD	

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



### 3.3.1 Pemilihan Kabel

Dalam pemilihan kabel, penulis memilih kabel berstandar SNI IEC 60502-1 yang diperuntukkan untuk instalasi listrik luar ruangan. Tipe kabel yang dipilih adalah NYY. Kabel ini memiliki spesifikasi *flame retardant* dan digunakan untuk instalasi listrik luar ruangan yang dibuktikan dengan katalog Kabel Metal Indonesia (KMI). Ukuran kabel yaitu  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$  atau berdiamater luar 10 mm. Material pembungkus kabel adalah PVC berwarna hitam dengan konduktor berbahan tembaga.



#### Keterangan:

- S1 adalah tebal isolasi
- S2 adalah selubung dalam
- S3 adalah selubung luar
- d adalah diameter luar kabel

**Gambar 3.1 Konstruksi Kabel NYY**

Sumber: SPLN 42-2:1992

Parameter teknis dari sampel pengujian yaitu kabel NYY  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$  berstandar SNI IEC 60502-1 data yang didapat dari SNI IEC 60502-1 adalah sebagai berikut:

Jumlah dan luas penampang Konduktor	: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$
Jumlah kawat dalam satu inti	: 1 buah (tunggal)
Diameter kawat	: 1,5 mm
Isolasi nominal (S1)	: 0,7 mm
Lapisan pembungkus inti (S2)	: 0,4 mm
Selubung nominal (S3)	: 1,2 mm
Diameter luar (d) maksimal	: 11 mm
Resistansi isolasi pada 70°C	: minimum 0,011 M.Ohm.km

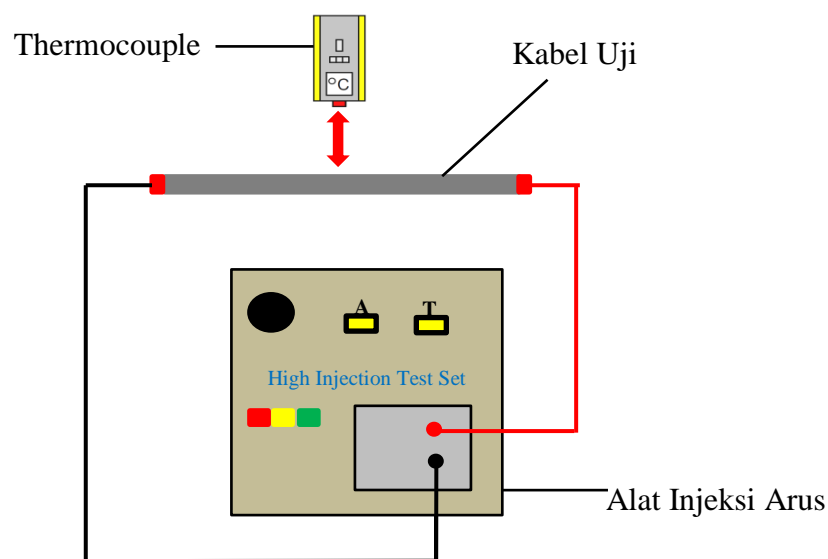
Kabel yang digunakan adalah kabel NY 3x1,5 mm<sup>2</sup> dengan label standar SNI IEC 60502-1 yang tercantum pada katalog kabel tersebut dan memiliki merek Eterna yang dikenal terbaik dipasaran.

Untuk kabel pembanding, penulis memilih kabel tidak berstandar SNI IEC 60502-1 namun dengan kabel yang sebanding yaitu dengan material pembungkus kabel adalah PVC berwarna hitam dan konduktor berbahan tembaga. Untuk ukuran kabel penulis menggunakan ukuran 3x1,5 mm<sup>2</sup> dengan tujuan untuk menyamai diameter luar dari kabel berstandar SNI IEC 60502-1 yang memiliki pembungkus kabel lebih tebal.

### **3.3.2 Rangkaian Pengujian**

Pada pengujian terdapat 2 jenis kabel yang akan diuji, yaitu kabel berstandar SNI IEC 60502-1 dan kabel tidak berstandar SNI IEC 60502-1. Diperlukan sebanyak 1 kabel berukuran 80 cm untuk kabel standar SNI IEC 60502-1 dan 80 cm kabel yang tidak memenuhi standar SNI IEC 60502-1. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan termal kabel ketika dialiri arus melebihi kemampuan

hantar arusnya menggunakan alat *high injector test set* dan pengukuran temperatur menggunakan *thermocouple*. Sedangkan untuk pengaturan arus dan waktu sudah terdapat pada alat penginjeksi arus. Namun untuk mendapatkan data yang lebih akurat, peneliti menggunakan *stopwatch* untuk menghitung waktu penelitian serta pemakaian alat perekam video untuk merekam proses pengujian. Rangkaian pengujian dapat diilustrasikan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Ketahanan Termal**

### 3.3.3 Persiapan Awal Pengujian

Pengujian ini dilakukan dalam 2 bagian yaitu pengujian temperatur untuk kabel yang sesuai standar dan pengujian temperatur untuk kabel yang tidak sesuai standar. Sebelum melakukan pengujian, maka ada beberapa hal yang harus dikerjakan, antara lain :

1. mencatat temperatur ruangan

2. Mengukur temperatur semua bagian dari kabel, baik itu konduktor maupun isolasi.
3. Mencatat Kelembaban
4. Menyiapkan form untuk mencatat data pengujian.

### **3.3.4 Prosedur Pengujian**

Apabila setiap langkah pada persiapan telah selesai dilaksanakan, maka kabel telah siap untuk diuji temperaturnya.

#### **3.3.4.1 Langkah Pengujian Terhadap Kabel**

Apabila setiap langkah pada persiapan telah selesai dilaksanakan, maka kabel telah siap untuk diuji kenaikan temperaturnya. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan arus kepada kabel hingga pada akhirnya isolasi kabel mengalami panas berlebih. Langkah- langkah yang dilakukan pada pengujian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan.
2. Menyiapkan kabel yang akan diuji.
3. Merangkai rangkaian percobaan seperti pada gambar 3.2.
4. Menyalakan sumber tegangan AC 220 V.
5. Menyalakan Current Injector (tombol main power diposisikan on) dan tunggu beberapa detik agar current meter menunjukkan angka nol Ampere.
6. Atur skala arus yang akan digunakan, jika akan menggunakan arus pada range 0 sampai dengan 400 Ampere maka skala arus diatur pada posisi 400 Ampere.

7. Tekan tombol JOG dan naikkan arus (raise current) perlahan – lahan sampai yang diinginkan (variasi arus adalah 5A).
8. Setelah itu, tekan tombol on pada daerah high current .
9. Jika berhasil maka timer akan menyala dan jika tidak berhasil tombol trip akan menyala.
10. Jika trip maka turunkan arus melalui tombol raise current dan tekan tombol reset, setelah itu, ulangi langkah nomer 7 sampai 9.
11. Setelah kabel dialiri arus selama 50 detik, pengujian dilanjutkan dengan mengukur temperatur kabel setiap 50 detik sampai dengan 300 detik ( 5 menit ) kemudian arus dinaikan dan kabel tidak didinginkan. Untuk tahapan ini besar arus yang diberikan adalah 5 A – 20 A.
12. Pada pengujian selanjutnya, arus yang diberikan dimulai dari Arus 25 A - 65 A. Temperatur kabel diukur pada keliapatan 50 detik selama 300 detik ( 5 menit ). Untuk tiap nilai arus yang diberikan, kabel didinginkan terlebih dahulu hingga kembali ke keadaan sebelum dialiri arus yaitu sebesar 28 °C. Hal ini dilakukan guna melihat laju kenaikan temperatur dari kabel.
13. Siapkan perlengkapan untuk mengukur temperatur kabel, lalu dicatat pada arus berapa kabel mulai mengeluarkan asap serta selang waktu yang dibutuhkan hingga kabel mulai mengeluarkan asap
14. Catatlah pada arus berapa kabel mulai meleleh dan temperatur dari kabel tetap diukur.
15. Apabila percobaan sudah selesai, matikan current injector dan sumber tegangan AC 220 V



### **3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini, untuk dapat membantu proses pengumpulan data penulis menggunakan beberapa metode pengumpulan data yaitu metode kajian pustaka dan metode eksperimen laboratorium.

#### **3.4.1 Metode Kajian Pustaka**

Metode kajian pustaka yang dilakukan adalah penulis mengadakan studi literatur dari buku dan jurnal baik jurnal nasional maupun internasional yang berkaitan dengan informasi dan cara pengujian kabel listrik, yaitu pengujian karakteristik termal kabel dan ketahanan isolasi kabel listrik.

#### **3.4.2 Metode Eksperimen Laboratorium**

Metode eksperimen laboratorium yang dilakukan penulis adalah melakukan pengujian ketahanan termal kabel terhadap dua merk kabel yang biasa digunakan pada instalasi listrik luar ruangan (outdoor) yaitu jenis kabel NYY 3x1,5 mm<sup>2</sup> berstandar SNI IEC 60502-1 dan kabel tidak berstandar SNI IEC 60502-1.

### **3.5 Teknik Analisis Data**

Pada pengujian ketahanan termal kabel dengan metode penginjeksian arus. Untuk mengetahui karakteristik termal kabel NYY 3x1,5 mm<sup>2</sup> berisolasi dan berselubung PVC, sampel kabel dengan panjang 80 cm dirangkai pada rangkaian pengujian kemudian alat *High Injection Test Set* menginjeksikan arus. Masing – masing penginjeksian dilakukan selama 300 detik setiap sampel sesuai dengan yang ditetapkan SNI IEC 60502-1.

Sebelumnya *thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu ruangan. Setelah suhu ruangan diukur, *thermocouple* diposisikan pada rangkaian pengujian untuk melakukan pengukuran data berupa temperatur, sedangkan arus dan waktu sudah tertera pada alat *High Injection Test Set*. Untuk memudahkan proses pengamatan, penulis memasang alat perekam video berupa *handphone* agar perubahan yang terjadi dapat terekam dan diputar berulang kali.

Data yang diolah adalah kenaikan temperatur dan waktu pada kabel ketika kabel tersebut menerima arus dan perubahan tahanan kabel serta perubahan fisik yang terjadi pada kabel. Kenaikan temperatur kabel didapat dari angka yang muncul pada *thermocouple*, sedangkan arus dan waktu sudah tertera pada alat *High Injection Test Set*.

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN**

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik termal dari kabel NYY yang berstandar SNI IEC 60502-1:2009 dibandingkan dengan kabel yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1:2009 untuk aplikasi instalasi listrik luar ruangan ketika dialiri arus diatas nilai kemampuan hantar arusnya.

Pengujian dibagi menjadi dua tahap. Pada tahap pertama setelah dilakukan pengukuran, nilai arus langsung diubah tanpa didinginkan terlebih dahulu pengukuran temperatur dilakukan pada  $t=50$  detik,  $t=100$  detik,  $t=150$  detik,  $t=200$  detik,  $t=250$  detik,  $t=300$  detik dengan arus awal 5 ampere dengan kenaikan 5 ampere sampai dengan arus 20 ampere. Pada tahap kedua setelah dilakukan pengukuran pada tiap arus, kabel didinginkan sampai pada kondisi semula yaitu temperatur 28 °C dengan variasi arus 25 sampai dengan 65 ampere.

Dari pengujian ini didapatkan data yang telah dilampirkan dan hasilnya dapat dilihat di bawah ini yang menunjukkan keadaan kabel yang sesuai standar dan tidak standar kabel NYY 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> untuk kabel standar tercantum SNI IEC 60502-1:2009, berbeda untuk kabel NYY 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> tidak sesuai standar dimana pada kabel tercantum label XXX yang merupakan merek kabel dan bukan merupakan standar peralatan listrik di Indonesia.

Dari pengujian yang dilakukan di laboratorium, diperoleh data sebagai berikut :

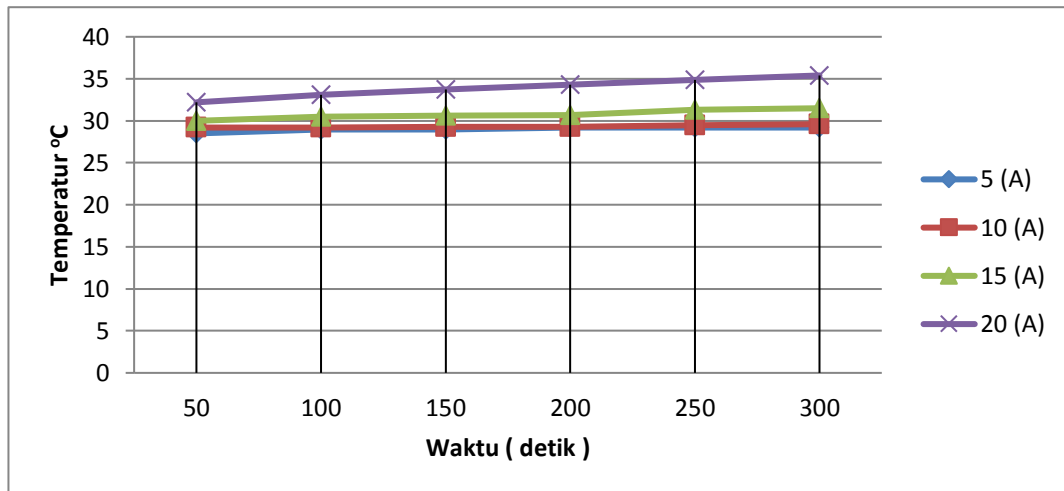
**Tabel 4.1 Penginjeksian Arus Kabel NYY Berstandar SNI IEC 60502-1  
( arus 5A - 20A )**

Arus (A)	Waktu ( Detik )					
	50	100	150	200	250	300
5	28.5	29	29	29.2	29.2	29.2
10	29.2	29.2	29.3	29.3	29.5	29.6
15	30	30.5	30.6	30.7	31.3	31.5
20	32.2	33.1	33.7	34.3	34.9	35.4

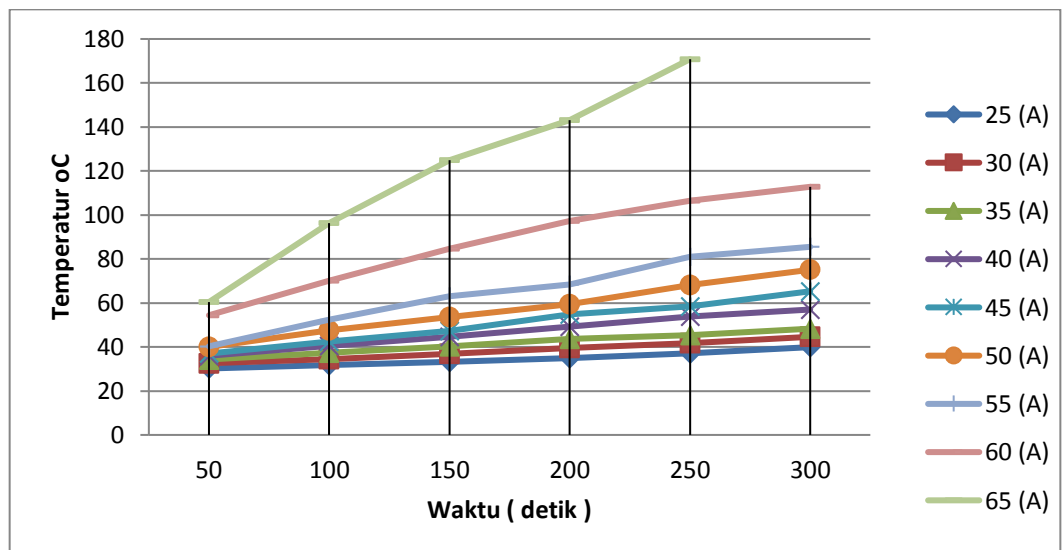
**Tabel 4.2 Penginjeksian Arus Kabel NYY Berstandar SNI IEC 60502-1  
( Arus 25A – 65A )**

Arus (A)	Waktu ( Detik )					
	50	100	150	200	250	300
25	30.2	31.7	33.2	35	37.2	39.9
30	32.6	34.4	36.8	39.6	41.6	44
35	34.3	37.4	40.2	43.6	45.4	48.3
40	36	40.4	44.7	49.2	53.8	57.2
45	37	42.5	47.4	54.9	58.5	65.3
50	40	47.5	53.7	59.5	68.2	75.1
55	40.3	52.3	63	68.5	81.1	85.5
60	54.4	70.2	84.7	97.2	106.5	122.8
65	60.4	96.2	125	143	170.8	-

Dari data kenaikan temperatur kabel, diperoleh grafik temperatur ketika kabel berada pada kondisi stabil seperti pada gambar 4.1. dan 4.2.



**Gambar 4.1 Grafik Kabel Standar SNI IEC 60502-1 ( Arus 5A – 20A )**



**Gambar 4.2 Grafik Kabel Standar SNI IEC 60502-1 ( Arus 25A – 65A )**

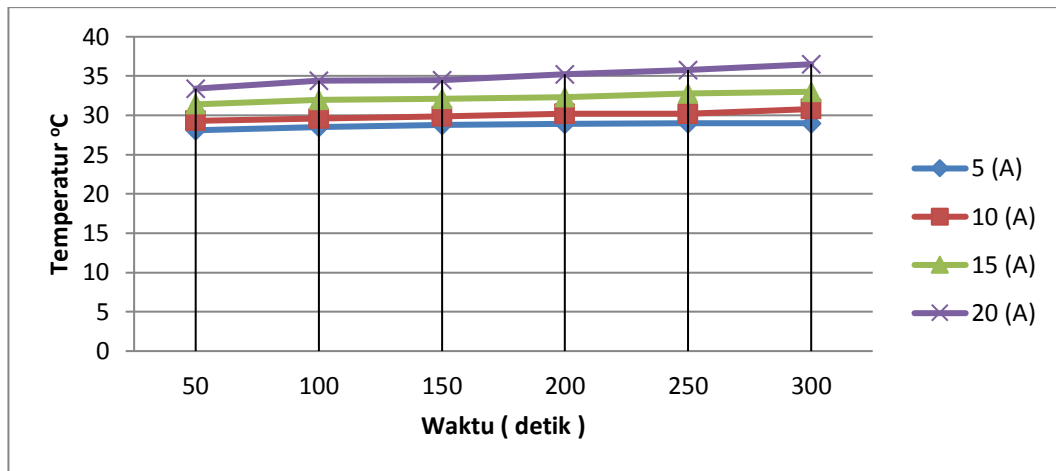
**Tabel 4.3 Penginjeksian Arus Kabel NYY Tidak Berstandar SNI IEC 60502-1 (arus 5A - 20A)**

Arus (A)	Waktu ( Detik )					
	50	100	150	200	250	300
5	28.1	28.5	28.8	28.9	29	29
10	29.3	29.6	29.9	30.2	30.2	30.8
15	31.4	32	32.1	32.3	32.8	33
20	33.4	34.4	34.5	35.2	35.8	36.5

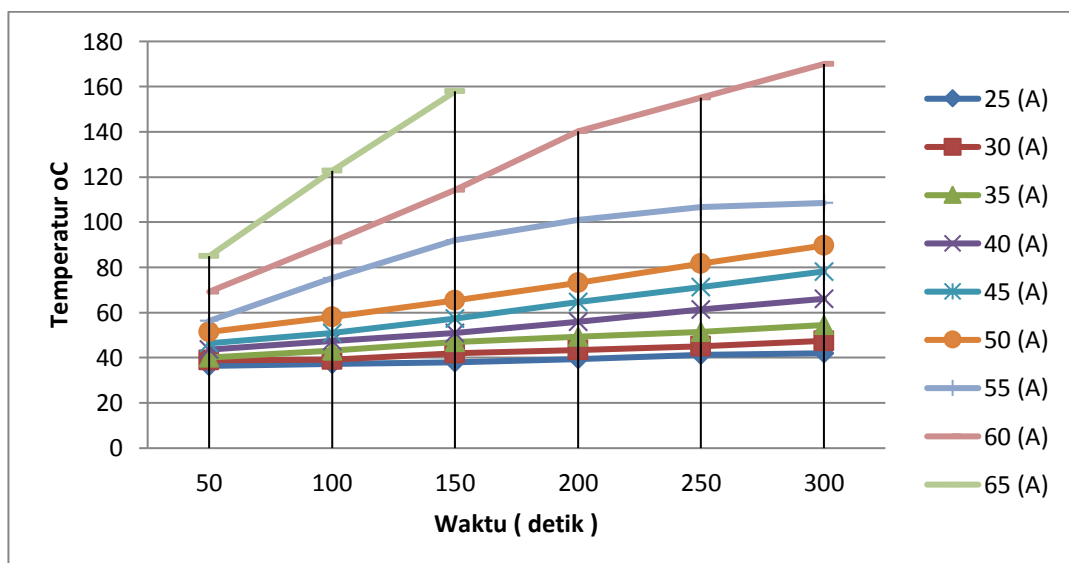
**Tabel 4.4 Penginjeksian Arus Kabel NYY Tidak Berstandar SNI IEC 60502-1 ( Arus 25A – 65A )**

Arus (A)	Waktu ( Detik )					
	50	100	150	200	250	300
25	36.4	37.3	38	39.5	41.4	42
30	38.9	39.1	41.9	43.5	45	47.5
35	40.1	43.2	46.9	49.3	51.5	54.5
40	43.6	47.5	51	56	61.4	66.1
45	46.4	51	57.4	64.6	71.3	78.2
50	51.4	58	65.4	73.2	81.6	89.7
55	56.3	75.4	92.1	100.9	106.7	108.5
60	69.2	91.3	144.2	140.1	155	170
65	84.9	122.7	157.8	-	-	-

Dari data diatas dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.3. dan 4.4



**Gambar 4.3 Grafik Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 ( Arus 5A – 20A )**



**Gambar 4.4 Grafik Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 (Arus 25A – 65A)**

Data temperatur kabel diukur pada waktu 50 detik, dengan kenaikan setiap 50 detik, hingga pada akhirnya mencapai waktu 300 detik.

Dari hasil pengujian injeksi arus pada tahap pertama untuk nilai arus 5 hingga 20 ampere, nilai temperatur dari kabel relatif konstan, berkisar 29-35 °C untuk kabel standar dan 29-36 °C untuk kabel tidak standar. Perubahan temperatur yang terjadi lebih disebabkan karena pengaruh temperatur luar. Saat arus 45 A pada waktu 300 detik kondisi kabel standar mencapai temperatur 65.3 °C sedangkan kabel tidak standar mencapai temperatur 78.2 °C dan pada permukaan kabel mulai berbau. Sementara kabel standar pada arus 5-50 A tidak ada pengaruh pada kabel, hanya kenaikan temperatur saja.

Pada pengujian injeksi arus tahap kedua untuk nilai arus 55 A kondisi kabel standar pada waktu 280 detik mulai mengeluarkan asap namun lebih sedikit dan mencapai temperatur 85.5 °C sedangkan kabel tidak standar pada waktu 248 detik kabel berasap, pada waktu 260 detik kabel mulai melunak dan mencapai temperatur 108.5 °C.

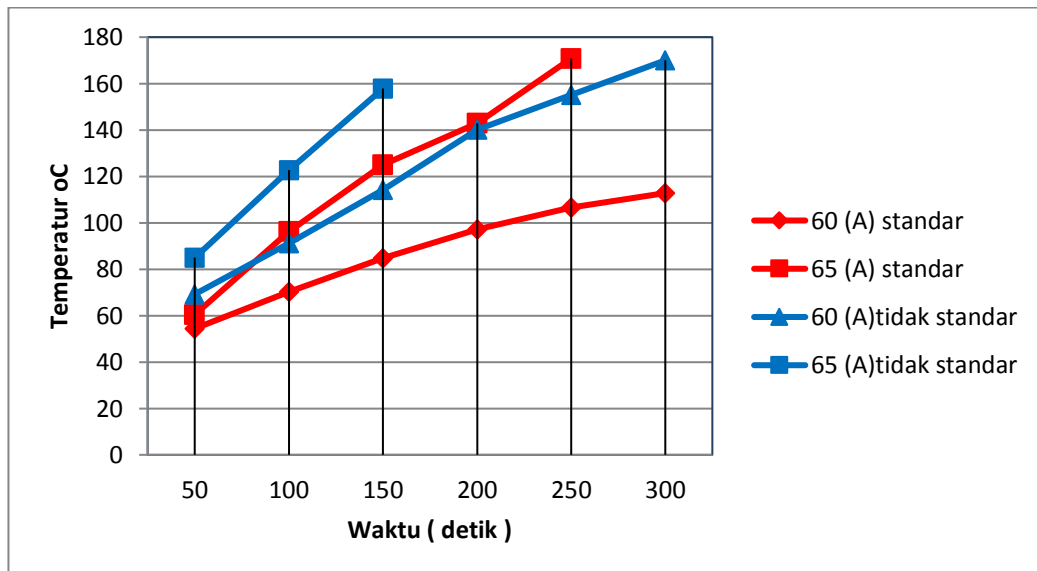
Pada arus terakhir yaitu 65 A kabel standar pada waktu 173 detik mulai berasap dan akhirnya meleleh dan hangus diwaktu 250 detik pada temperatur 170,8 °C. Sedangkan kabel tidak standar pada waktu 68 detik dan temperatur 84,9 °C berasap dengan bau yang menyengat, pada waktu 120 detik kabel berasap banyak dan akhirnya meleleh hingga konduktor terlihat pada temperatur 157,8 °C

Dari hasil pengujian kabel standar SNI IEC 60502-1:2009 memiliki ketnaikan temperatur yang lebih rendah dibanding dengan kabel non standar SNI IEC 60502-1:2009. Karakteristik lelehan dan asap yang terjadi pada kabel standar lebih sedikit dan cepat hangus dibanding dengan kabel tidak standar.



## 4.2 Analisa Data Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa kenaikan arus pada kabel akan mempengaruhi kenaikan temperaturnya. Kabel sendiri terdapat beberapa kondisi keadaan yaitu dingin, panas, berasap, meleleh dan hangus. Kenaikan arus dalam beberapa waktu tertentu dapat menaikkan temperatur dari kabel. Terlihat dengan jelas perbedaannya saat kabel dialiri arus melebihi batas kemampuan hantarnya.



**Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Kabel (Arus 60A dan 65A)**

Pada pengujian ini, konduktor yang dialiri arus merupakan sumber pemanasan utama pada kabel. Panas tersebut akan dialirkan ke bahan isolasi dan ke permukaan kabel kemudian dilepaskan ke lingkungan, sehingga timbul selisih temperatur dari konduktor ke permukaan kabel akibat adanya resistansi konduktor.

Perubahan temperatur yang paling besar terjadi pada konduktor, sedangkan yang paling kecil adalah pada isolasi kabel yang tidak dialiri arus. Demikian halnya dengan temperatur pada saat kondisi stabil, kenaikan temperatur paling besar pada konduktor yang di aliri arus, sedangkan yang paling kecil terdapat pada isolasi kabel yang tidak dialiri arus. Jika dibandingkan dengan kabel yang sesuai standar, pada nilai arus yang sama, kabel yang tidak sesuai standar memiliki nilai temperatur yang lebih tinggi. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1 – tabel 4.4.

Kabel ketika menghantarkan arus maka akan menjadi sebuah sumber panas. Energi panas ini menyebabkan kenaikan temperatur pada kabel terutama pada bagian konduktornya. Ada beberapa sumber panas di dalam kabel seperti rugi-rugi yang disebabkan arus yang mengalir di dalam konduktor, kerugian dielektrik pada isolasi, arus pada pembungkus kabel dan armor (pelindung kabel). Sedangkan sumber panas dari luar kabel seperti arus induksi dan temperatur lingkungan sekitar.

Pada pengujian ini sumber panas yang diperhatikan adalah sumber panas dari dalam yaitu arus yang mengalir dan sumber dari luar yaitu temperatur lingkungan. Sumber panas ini membuat temperatur di dalam kabel dan isolasi naik dengan kecepatan kenaikan berbeda sesuai dengan resistansi yang bervariasi.

Mencari nilai hambatan kawat penghantar kabel standar :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

R = tahanan bahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = resistivitas bahan ( $\Omega$ -m)

l = panjang penghantar (m)

$a$  = luas penampang penghantar ( $\text{m}^2$ )

Untuk nilai hambatan kawat penghantar kabel tidak standar :

Nilai  $\rho$  bahan tembaga adalah  $1,68 \times 10^{-8} \Omega\text{-m}$

Luas penampangnya adalah  $1,5 \text{ mm}^2$  atau  $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Panjang kabelnya adalah 80 cm atau  $8 \times 10^{-1} \text{ m}$

Maka nilai tahanan bahannya adalah :  $0,0112 \Omega$

Untuk nilai hambatan kawat penghantar kabel tidak standar :

Luas penampangnya adalah :  $1,13 \text{ mm}^2$  atau  $1,13 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Maka nilai tahanan bahannya adalah :  $0,0118 \Omega$

Setelah itu kita mencari nilai resistensi setelah pengujian.

$$R_T = R_{28} [ 1 + \alpha_{28} ( T - 28^0 ) ]$$

Dimana:

$R_T$  = Hambatan pada temperatur  $T^0\text{C}$

$R_{28}$  = Hambatan pada temperatur  $28^0 \text{ C}$  ( $\text{Ohm}/^0\text{C}$ )

$\alpha_{28}$  = koefisien temperatur resistivitas

$T$  = Temperatur Kerja ( $^0\text{C}$ )

Koefisien suhu hambatan jenis ( $\alpha$ ) tergantung pada jenis bahan. Meskipun hambatan jenis sebagian besar logam bertambah akibat kenaikan suhu, namun bahan tertentu hambatan jenis justru akan semakin kecil akibat kenaikan suhu. Hal ini terjadi pada bahan semikonduktor yaitu, karbon, grafit, germanium, dan silikon.

Nilai  $\alpha_{28} = 0,00426 / ^0 \text{ C}$

konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu konduktor untuk menghantarkan arus. Nilainya berbanding terbalik dengan resistansi sesuai dengan persamaan di atas. Untuk mengetahui nilai konduktivitas dapat diketahui dengan persamaan

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Terlebih dahulu mencari nilai resistivitas (  $\rho$  ) dengan rumus :

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

Maka dapat diketahui nilai  $\Delta T$ ,  $R_t$ , Kenaikan  $R$ , Resistivitas, dan Konduktivitas

#### 4.5 Tabel Perhitungan Kabel Standar SNI IEC 60502-1

Arus	delta T	Rt	Kenaikan R	Resistivitas ( $10^{-8}$ )	Konduktivitas
25	11.9	0.0117	0.0005	2.1937	0.4558
30	16	0.0119	0.0007	2.2312	0.4482
35	20.3	0.0121	0.0009	2.2687	0.4408
40	29.2	0.0125	0.0013	2.3437	0.4267
45	37.3	0.0129	0.0017	2.4187	0.4134
50	47.1	0.0134	0.0022	2.5125	0.3980
55	57.5	0.0139	0.0027	2.6062	0.3837
60	94.8	0.0157	0.0045	2.9812	0.3354
65	142,8 ( pada waktu 250 s)	0.018	0.0068	3.375	0.2963

resistensi konduktor sebelum pengujian : 0,0112  $\Omega$

Nilai  $\alpha_{28} = 0,00426 / ^\circ \text{C}$

Temperature awal =  $28 ^\circ \text{C}$

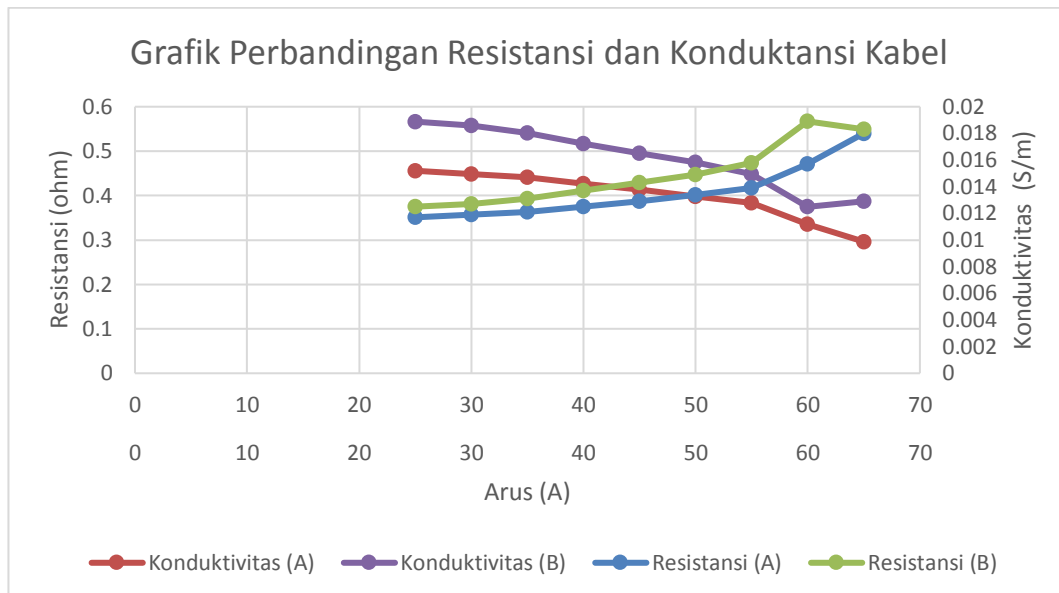
resistensi konduktor sebelum pengujian :  $0,0118 \Omega$

#### 4.6 Tabel Perhitungan Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1

Arus	delta T	Rt	Kenaikan R	Resistivitas ( $10^{-8}$ )	Konduktivitas
25	14	0.0125	0.0007	1.7656	0.5664
30	19.5	0.0127	0.0009	1.7938	0.5575
35	26.5	0.0131	0.0013	1.8503	0.5405
40	38.1	0.0137	0.0019	1.9351	0.5168
45	50.2	0.0143	0.0025	2.0198	0.4951
50	61.7	0.0149	0.0031	2.1046	0.4751
55	80.5	0.0158	0.004	2.2317	0.4481
60	142	0.0189	0.0071	2.6696	0.3746
65	129,8 (pada waktu 150 s)	0.0183	0.0065	2.5848	0.3869

resistensi konduktor sebelum pengujian :  $0,0118 \Omega$

Dari tabel di atas dapat dibuat grafik perbandingan resistansi dan konduktivitas masing-masing kabel.

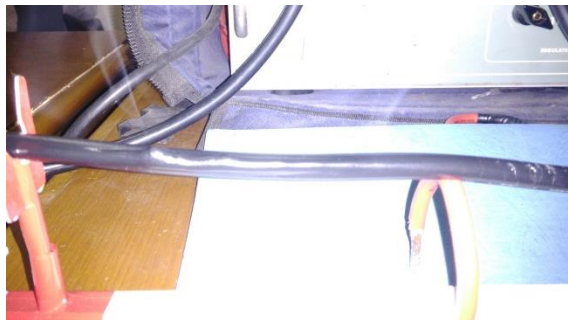


**Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Resistansi dan Konduktansi Kabel**

Dari tabel dan grafik hasil perhitungan nilai konduktivitas di atas dapat diketahui, untuk arus pengujian yang sama, semakin besar suhu pengujian maka nilai konduktivitasnya menjadi semakin kecil. Menurunnya nilai konduktivitas ini membuat kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus menjadi semakin kecil. Hal ini terjadi pada pengujian kabel pada arus 65. Pada kabel standar pada waktu 250 detik, arus listrik mulai mengalami penurunan, dan pada kabel tidak standar pada waktu 150 detik, arus listrik mengalami penurunan.

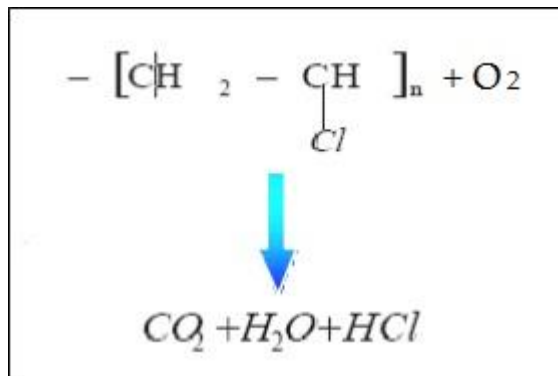
Berdasarkan gambar 4.5 kenaikan temperatur kabel yang tidak standar lebih tinggi dibandingkan dengan kabel yang standar. Pada tahap pertama untuk nilai arus 5 hingga 20 ampere, nilai temperatur dari kabel relatif konstan, berkisar 29-35 °C. Perubahan temperatur yang terjadi lebih disebabkan karena pengaruh

temperatur luar. Sedangkan arus yang dialirkan ke konduktor tidak memberikan banyak pengaruh. Pada tahap selanjutnya arus yang diberikan sebesar 25 A - 65 A hal ini dilakukan untuk menentukan nilai arus dimana kabel mulai mengeluarkan asap. Setelah kabel di ukur temperaturnya, kabel dibiarkan dialiri arus selama 5 menit, dan dicatat waktu yang dibutuhkan hingga kabel mengalami panas yang berlebih dan bereaksi menjadi terbakar, meleleh atau hangus. Kondisi dimana kabel mulai mengeluarkan asap di tunjukkan oleh gambar 4.7



**Gambar 4.7 Kondisi Kabel Ketika Dialiri Arus Sebesar 60 A**

Asap yang ditimbulkan pada pengujian ini merupakan hasil pembakaran dari material isolasi. Reaksi pembakaran dari material PVC dapat digambarkan pada gambar 4.6.



**Gambar 4.8 Reaksi Pembakaran PVC**

*Sumber Gambar : Brian Cakra, "Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC pada Kabel dengan Tegangan Pengenal 300/500 Volt" UI, 2009.*

Dengan memperhatikan gambar 4.7, asap hasil pembakaran PVC merupakan kombinasi dari gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{HCl}$ . Hal ini diindikasikan oleh timbulnya bau disaat kabel mengeluarkan asap. Disamping itu hasil pembakaran PVC juga menghasilkan air. Cairan yang tertinggal pada tempat pengujian merupakan air hasil pembakaran PVC.

Kabel mulai berasap pada arus sebesar 60 A dalam waktu 248 detik (4 menit). Diatas 60 A kabel lebih cepat mengeluarkan asap dan intensitas asap yang dikeluarkan juga bertambah, dari sini dapat disimpulkan bahwa ketahanan panas bahan isolasi dipengaruhi oleh lama kabel di aliri arus. Bahan isolasi dari kabel akan mengalami kerusakan jika dialiri arus terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Disamping itu besar arus yang dialirkan pada kabel juga ikut memberikan pengaruh. Semakin besar arus yang dialirkan maka kalor yang dialirkan dari konduktor kepada isolasi kabel akan bertambah sehingga proses pembakaran bahan isolasi menjadi semakin cepat. Dengan demikian kabel akan lebih cepat mengeluarkan asap.



Secara teoritis disebutkan bahwa distribusi temperatur sepanjang konduktor yang lurus adalah seragam. Namun dari gambar 4.5 terlihat bahwa proses reaksi pada kabel tidak berlangsung disepanjang kabel. Hal ini dikarenakan resistansi konduktor yang tidak merata sepanjang kabel.

Resistansi konduktor dapat dirumuskan sebagai :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4.1)$$

Dimana R adalah resistansi konduktor,  $\rho$  adalah hambatan jenis, l adalah panjang kabel dan A adalah luas penampang konduktor. Dari persamaan diatas, nilai resistansi berbanding terbalik dengan luas penghantar dari konduktor. Sedangkan panas yang dihasilkan oleh konduktor yang dialiri arus berbanding lurus dengan resistansi konduktor. Apabila luas penampang berubah, maka resistansi akan berubah, sehingga kalor yang dihasilkan konduktor juga ikut berubah. Karena distribusi temperaturnya juga tidak merata, maka tidak semua bahan isolasi kabel meleleh .

Berdasarkan Persamaan 4.1 nilai resistansi dari konduktor berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Semakin kecil luas penampang maka resistansi konduktor akan semakin besar. Penurunan luas penampang akan menaikkan hambatan dari konduktor yang selanjutnya akan ikut menaikkan temperatur. Pengukuran terhadap diameter konduktor menunjukkan bahwa konduktor kabel yang sesuai standar memiliki diameter 1.5 mm sedangkan kabel yang tidak sesuai standar memiliki diameter 1.25 mm. Karena diameter

konduktor kabel yang tidak sesuai standar lebih kecil dari pada kabel yang sesuai standar, maka luas penampangnya menjadi lebih kecil, sehingga pada nilai arus yang sama temperatur yang dicapai juga lebih tinggi dan kabel yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 memiliki resistensi konduktor yang lebih besar, hal ini menyebabkan arus yang dapat dilalui kabel tersebut lebih rendah dari kabel berstandar SNI IEC 60502-1.

Pengujian yang dilakukan pada kabel yang tidak sesuai standar menunjukkan bahwa kabel mulai berbau pada arus 45 A dengan temperatur 78,2 °C berasap pada arus 60 A di waktu 148 detik serta meleleh pada arus 65 A dengan temperatur 158,7 °C pada waktu 135 detik. Sedangkan pada nilai arus 45 A hingga 55 A, kabel yang sesuai standar belum mengalami kerusakan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Kondisi Kabel Standar Dengan Kabel Tidak Standar**

Arus ( Ampere )	Kabel Standar	Kabel Tidak Standar
45	Tidak ada pengaruh pada kabel, hanya kenaikan temperatur saja	Pada permukaan kabel mulai berbau di detik 300 temperatur 78,2 °C
55	Pada permukaan kabel mulai berasap sedikit pada detik 300	Pada permukaan kabel berbau di detik 200 temperatur 100,9 °C
60	Pada detik 280 mulai mengeluarkan asap namun sedikit	Pada detik 148 kabel berasap, pada detik 260 kabel mulai melunak
65	Pada detik 173 mulai berasap dan	Pada detik 68 dan temperatur 84,9

	akhirnya meleleh di detik 250 pada temperatur 170,8 °C	berasap dengan bau yang menyengat. di detik 120 kabel berasap banyak dan akhirnya meleleh dan terkelupas hingga konduktor terlihat pada suhu 157,8 °C
--	--	---

Dari hasil pengujian di atas, isolasi kabel mulai berasap banyak dan berbau pada arus sebesar 60 A dalam selang waktu 148 detik. Hal ini berbeda dengan kabel yang sesuai standar, Pada nilai arus 60 A kabel yang sesuai standar mengeluarkan asap di waktu 280 detik dan dengan jumlah asap yang lebih sedikit. Diatas 50 A, proses pembakaran berlangsung lebih cepat. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2. dan 4.4. Terlihat bahwa semakin tinggi arus yang diberikan, makin cepat kabel mengalami reaksi ( meleleh atau hangus ).

Dari pengujian terlihat bahwa intensitas asap yang dikeluarkan oleh kabel yang tidak sesuai standar jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan kabel yang sesuai standar. Perbandingan intensitas asap kabel standar dengan kabel non standar dapat dilihat pada gambar 4.9. dan 4.10.



**Gambar 4.9 Intensitas Asap Kabel Standar**



**Gambar 4.10 Intensitas Asap Kabel Tidak Standar**

Bahan isolasi yang baik adalah bahan isolasi yang menggunakan bahan *thermal stabilizer* sehingga tahan terhadap temperatur tinggi. Tingginya intensitas asap hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan isolasi dari kabel yang tidak sesuai standar merupakan bahan isolasi yang menggunakan bahan *thermal stabilizer* dalam jumlah yang sedikit sehingga lebih cepat mengalami pembakaran. Perlu diketahui, penambahan bahan penstabil akan membuat isolasi kabel lebih kaku. Hal inilah yang menyebabkan bahan isolasi kabel sesuai standar SNI IEC

60502-1 lebih kaku jika dibandingkan dengan bahan isolasi kabel yang tidak sesuai standar.

#### **4.3 Pembahasan**

Berdasarkan hasil pengujian termal kabel dapat dilihat bahwa kenaikan arus dalam beberapa waktu tertentu dapat menaikkan temperatur dari kabel. Terlihat dengan jelas perbedaannya saat kabel dialiri arus melebihi batas kemampuan hantarnya. Konduktor yang dialiri arus merupakan sumber pemanasan utama pada kabel yang terjadi akibat rugi-rugi konduktor. Panas tersebut akan dialirkan ke bahan isolasi dan ke permukaan kabel kemudian dilepaskan ke lingkungan, sehingga timbul selisih temperatur dari konduktor ke permukaan kabel akibat adanya resistansi termal. Jika dibandingkan dengan kabel yang sesuai standar, pada nilai arus yang sama, kabel yang tidak sesuai standar memiliki nilai temperatur yang lebih tinggi.

Bahan isolasi dari kabel akan mengalami kerusakan jika dialiri arus terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Disamping itu besar arus yang dialirkan pada kabel juga ikut memberikan pengaruh. Semakin besar arus yang dialirkan maka kalor yang dialirkan dari konduktor kepada isolasi kabel akan bertambah sehingga proses pembakaran bahan isolasi menjadi semakin cepat. Dengan demikian kabel akan lebih cepat mengeluarkan asap.

Asap yang ditimbulkan pada pengujian ini merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna dari material isolasi. asap hasil pembakaran PVC merupakan kombinasi dari gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{HCl}$ . Hal ini diindikasikan oleh timbulnya bau disaat kabel mengeluarkan asap. Disamping itu hasil pembakaran PVC juga

menghasilkan air. Cairan yang tertinggal pada tempat pengujian merupakan air hasil pembakaran PVC.

Tingginya intensitas asap hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan isolasi dari kabel yang tidak sesuai standar merupakan bahan isolasi yang menggunakan bahan *thermal stabilizer* dalam jumlah yang sedikit sehingga lebih cepat mengalami pembakaran. Perlu diketahui, penambahan bahan penstabil akan membuat isolasi kabel lebih kaku. Hal inilah yang menyebabkan bahan isolasi kabel SNI IEC 60502-1 sesuai standar lebih kaku jika dibandingkan dengan bahan isolasi kabel yang tidak sesuai standar.

#### **4.4 Aplikasi Hasil Penelitian**

Hasil penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi kepada masyarakat dalam memilih kabel yang baik dan berstandar, karena dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kabel yang berstandar memiliki ketahanan termal yang lebih baik dibanding kabel yang tidak standar. Disamping itu penelitian ini juga memberikan informasi batas dari kemampuan kabel NYY 3 x 1.5 mm<sup>2</sup> dalam menerima arus dan menahan temperatur.

Untuk dunia pendidikan, hasil penelitian ini bisa menjadi acuan akademis atau referensi yang relevan dalam penelitian tentang kabel, hubungan arus dan temperatur kabel, konsleting listrik dan hal-hal yang berkaitan dengan penyebab kebakaran akibat permasalahan instalasi listrik.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakteristik termal kabel berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami kenaikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan kabel yang tidak standar SNI IEC 60502-1. kenaikan temperatur berbanding lurus dengan nilai resistansi dan berbanding terbalik dengan konduktivitas listrik, semakin tinggi temperatur maka nilai konduktivitasnya menjadi semakin kecil, sehingga kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus menjadi semakin kecil dan arus maksimum yang dapat bertahan pada pengujian adalah 60 A .
2. Perubahan fisik yang terjadi adalah, kabel berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami meleleh dan akhirnya hangus, sedangkan kabel yang tidak berstandar SNI IEC 60502-1 mengalami meleleh dan tidak hangus. Selain itu perubahan yang terjadi adalah munculnya asap pada saat pengujian dengan jumlah pada kabel standar SNI IEC 60502-1 lebih sedikit dibandingkan dengan kabel tidak standar.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk setiap jenis kabel memiliki nilai Kemampuan Hantar Arus (KHA) yang berbeda- beda, maka perlu di sesuaikan variasi kenaikan arus yang akan di gunakan untuk pengujian agar hasil pengujian lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

American National Standards Institute. (2000). *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*. New York : American National Standards Institute.

Arifianto. (2008). Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi.Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V, Depok: FT-UI.

Badan Standarisasi Nasional. (2000). *SNI 04-0225-2000: Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. (2009). *SNI IEC 60502-1:2009: Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan lengkapannya untuk voltase pengenal dari 1 kV ( $U_m = 1,2 \text{ kV}$ ) sampai dengan 30 kV ( $U_m = 36 \text{ kV}$ )*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Cakra, Brian. (2009). Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC dengan Tegangan Pengenal 300/500 Volt, Depok: FT-UI.

Callister, D. William, Jr. (2003). *Material Science and Engineering an Introduction*, Singapore : John Wiley & Sons (ASIA) Pte Ltd.

Cengel, Y. A. dan Ghajar, A. J. (2015). *Heat And Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Ed ke-5*. New York: McGraw Hill.

Dananto, F. ( 2004). Analisis Karakteristik Penghantar Kabel Fleksibel Dengan Penghantar Kabel Inti Tunggal NYM 2,5 mm<sup>2</sup> dan 4 mm<sup>2</sup>. FT-UI.



- Falcon, R. (2008). *Analisis Karakteristik Termal Dan Resistensi Konduktor Pada Kabel Inti Ganda NYM 2 X 1.5 MM<sup>2</sup>*, Depok : FT-UI.
- Harten, P. V., dan Setiawan, E. (1991). *Instalasi Listrik Arus kuat*. Bandung: Bina Cipta.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine A. S. ( 2007). *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons.
- Kabel Metal Indonesia. (2009). *Kabel NYY- 14233-03 Rev. 2.0 / 2009*. Jakarta : Kabel Metal Indonesia.
- Kelvin. Yuliana, Pram Eliyah. & Rahayu, Sri. (2015). Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api pada Industri Textile. [Prosiding] Seminar Nasional “Inovasi dalam Desain dan Teknologi – IDEaTech. Surabaya : 36-43.
- Leinhard IV, John H. Leinhard V, John H. (2000). *A heat Transfer Textbook third Edition*, Massachusetts USA: J.H. Leinhard V
- Moore, G. F. (1997). *Electric Cable Handbook*, Ed Ke-3. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik ( PUIL). (2000).  
<http://www.djk.esdm.go.id/pdf/Buku%20PUIL/Buku%20PUIL.pdf>. Diakses pada tanggal 7 April 2018
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik ( PUIL). (2011). <https://betterwork.org/in-labourguide/wp-content/uploads/13707100-puil-2000.pdf>. Diakses pada tanggal 7 April 2018
- PT PLN (Persero). (2010). Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.

Schroll, R. C. (2002). *Industrial Fire Protection Handbook*, Ed ke-2. Boca Raton: CRC Press.

Setiabudy, Rudy. (2007). *Material Teknik Listrik*, Jakarta : UI-Press.

SPLN 42-2 (1992). Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt.

Subagyo, Amir “*Antisipasi yang Diperlukan Terhadap Kebakaran Listrik pada Bangunan Gedung*” ISSN : 2252-4908 Vol. 1 No. 2 Agustus 2012 : 8-15

Surdia, T., dan Saito, S. (1992). *Pengetahuan Bahan teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sutrisno, Himawan H., Wirawan, Riza., dan Triyono. (2013). Uji Kemampuan Bakaran Pembungkus Kabel NYM Berstandar SNI Dengan Differential Scanning Calorimetric *SETRUM*, 1(2) : 22-24.

Suyamto. (2009). *Fisika Bahan Listrik*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.

Thue, William A. (1999). *Electrical Power Cable Engineering*, New York: Marcel Dekker, Inc.

Tobing, B.L. (2012). *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan tinggi*, Ed ke-2. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Transcat. *Basic Insulation Testing Methode and Instrument*.  
[www.transcat.com/pdf/basicinsulationtesting](http://www.transcat.com/pdf/basicinsulationtesting). diakses pada 1 April 2017



# LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Surat Keterangan Melakukan Penelitian

## Lampiran 2. Katalog Kabel Berstandar SNI IEC 60502-1

### **NYY 3 x (1.5-400) mm<sup>2</sup> 0.6/1 kV** **Cu / PVC / PVC** (Copper Conductor, PVC Insulated, PVC Sheathed) Standard Specification : IEC 60502-1

#### Construction Data

Nom. Cross Section Area	Overall Diameter approx.	Cable Weights approx.
mm <sup>2</sup>	mm	kg/km
1.5	13.0	334
2.5	14.0	377
4	16.1	383
6	17.3	471
10	19.4	649
16	22.0	875
25	25.0	1,348
35	27.5	1,606
50	30.0	1,867
70	34.0	2,556
95	36.5	3,438
120	41.5	4,182
150	46.0	5,115
185	50.5	6,330
240	57.0	8,215
300	62.5	10,116
400	69.0	12,765

**Application :**  
 Power cable : indoor, cable trunking, outdoors  
 and buried in the ground, for power stations,  
 industry and substations as well as for urban  
 supply networks, if mechanical damage is  
 unlikely.

#### Special Features on Request :

- Fire Resistance
- Oil Resistance
- UV Resistance
- Plasma Resistance Cat. A, B, C
- Plasma Resistance non Category
- Heat Resistance
- Anti Tamper
- Anti Rodent
- Low Smoke Zero Halogen
- Nylon Coated



#### Note :

**Conductor Strips**  
 7.5 - 10 sqmm supplied in solid (st) or non compacted circular stranded (sm)  
 conductor shape  
 16 sqmm supplied in non compacted circular stranded (sm) conductor shape  
 25 - 35 sqmm supplied in compacted circular stranded (cm) conductor shape  
 50 - 400 sqmm supplied in sector shaped stranded (sm) conductor

#### Standard Packing

7.5 - 40 sqmm supplied in wooden drum @ 1000 m  
 50 - 400 sqmm will be supplied in wooden drum on available length  
 Length Tolerance per drum ± 2%

#### Electrical Data

Conductor			Inductance	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec
Nom. Cross Sect.	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 70°C				
				in air	in ground	
	(mm²)	Max. (Ω/km)		Max. (Ω/km)	Max. (A)	
1.5	12.1	14.478	0.328	20	23	0.17
2.5	7.41	8.866	0.304	26	31	0.29
4	4.61	5.516	0.303	34	40	0.46
6	3.08	3.685	0.288	44	50	0.69
10	1.83	2.190	0.269	60	68	1.15
16	1.15	1.376	0.255	79	88	1.84
25	0.727	0.870	0.255	105	114	2.88
35	0.524	0.627	0.246	129	137	4.03
50	0.387	0.464	0.247	162	168	5.75
70	0.268	0.321	0.238	203	206	8.05
95	0.193	0.232	0.238	250	247	10.93
120	0.153	0.184	0.233	289	281	13.80
150	0.124	0.150	0.233	330	315	17.25
185	0.0991	0.121	0.233	381	356	21.28
240	0.0754	0.093	0.232	451	412	27.60
300	0.0601	0.075	0.231	517	464	34.50
400	0.0470	0.060	0.229	594	524	41.20

\* Further information about rating factor for certain cable arrangement can be found on supplementary technical information

**KMI**  
Wire and Cable

**kabelmetal**  
INDONESIA

**SMK3**  
PELAGER 3189  
**ISO 9001**  
QUALITY ASSURED FIRM

**ISO 14001**  
ENVIRONMENTAL SYSTEM  
**OHSAS 18001**  
HEALTH & SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

www.kmi.co.id  
PT KMI Wire and Cable Tbk reserves the right to change the data content without prior notification

14233-03 Rev. 2.0 / 2009

**Lampiran 3. SNI IEC 60502-1 : 2009**

**Lampiran 4. Gambar Alat dan Proses Pengujian Ketahanan Termal Kabel**



**Gambar Alat High Current Injector Test**



**Gambar Pengujian Ketahanan Termal Kabel**





**Gambar Asap Dari Kabel Standar SNI IEC 60502-1 : 2009**



**Gambar Asap Dari Kabel Tidak Standar SNI IEC 60502-1 : 2009**

**Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan  
lengkapannya untuk voltase pengenalan  
dari 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) sampai dengan  
30 kV ( $U_m = 36$  kV) –  
Bagian 1: Kabel untuk voltase  
pengenal 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) dan 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)  
(IEC 60502-1 (2004-04), IDT)**

© BSN 2009

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang menyalin atau menggandakan sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun dan dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN

Gd. Manggala Wanabakti

Blok IV, Lt. 3,4,7,10.

Telp. +6221-5747043

Fax. +6221-5747045

Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)

[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta

## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	iv
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	2
3.1 Definisi nilai dimensi (tebal, penampang dan lain-lain) .....	2
3.2 Definisi mengenai pengujian .....	3
4 Penyebutan voltase dan bahan .....	3
4.1 Voltase pengenalan .....	3
4.2 Kompon insulasi.....	4
4.3 Kompon selubung .....	6
5 Konduktor .....	6
6 Insulasi.....	6
6.1 Bahan.....	6
6.2 Tebal insulasi .....	6
7 Rakitan kabel multiinti, penutup bagian dalam dan pengisi.....	8
7.1 Penutup bagian dalam dan pengisi.....	8
7.3 Kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV .....	10
8 Lapisan logam untuk kabel inti tunggal dan multiinti .....	10
9 Skrin logam.....	10
9.1 Konstruksi .....	10
9.2 Persyaratan.....	11
10 Konduktor konsentris.....	11
10.1 Konstruksi .....	11
10.2 Persyaratan.....	11
10.3 Penerapan.....	11
11 Selubung timbel .....	11
12 Armor logam .....	12
12.1 Jenis armor logam.....	12
12.2 Bahan.....	12
12.3 Penerapan armor .....	12
12.4 Dimensi kawat armor dan pita armor .....	13
12.5 Korelasi antara diameter kabel dan dimensi armor .....	13
12.6 Armor kawat bulat atau pipih.....	14
12.7 Armor pita dobel.....	14

13	Selubung terluar ( <i>oversheath</i> ) .....	15
13.1	Umum.....	15
13.2	Bahan .....	15
13.3	Ketebalan .....	15
14	Kondisi uji.....	16
14.1	Suhu ambien .....	16
14.2	Frekuensi dan bentuk gelombang voltase uji frekuensi daya.....	16
14.3	Bentuk gelombang voltase uji impuls .....	16
15	Uji rutin.....	16
15.1	Umum.....	16
15.2	Resistans listrik konduktor.....	16
15.3	Uji voltase.....	17
16	Uji sampel .....	18
16.1	Umum.....	18
16.2	Frekuensi uji sampel .....	18
16.3	Pengulangan uji.....	18
16.4	Pemeriksaan konduktor.....	18
16.5	Pengukuran tebal insulasi dan selubung nonlogam (termasuk selubung pe-misah terekstrusi, tetapi tidak termasuk penutup tersekstrusi bagian dalam) .....	19
16.6	Pengukuran tebal selubung timbel .....	19
16.7	Pengukuran kawat dan pita armor .....	20
16.8	Pengukuran diameter eksternal .....	20
16.9	Uji set panas untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE serta selubung elastomer .....	20
17	Uji tipe, listrik.....	21
17.1	Pengukuran resistans insulasi pada suhu ambien .....	21
17.2	Pengukuran resistans insulasi pada suhu konduktor maksimum.....	22
17.3	Uji voltase selama 4 jam .....	22
17.4	Uji impuls untuk kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV.....	23
18	Uji tipe, nonlistrik.....	23
18.1	Pengukuran tebal insulasi .....	23
18.2	Pengukuran tebal selubung nonlogam (termasuk selubung pemisah terekstrusi, tetapi tidak termasuk penutup bagian dalam) .....	23
18.3	Pengujian untuk menentukan sifat mekanis insulasi sebelum dan setelah penuaan .....	24
18.4	Pengujian untuk menentukan sifat mekanis selubung nonlogam sebelum dan setelah penuaan.....	24
18.5	Uji penuaan tambahan pada potongan kabel utuh.....	25
18.6	Uji susut massa pada selubung PVC tipe ST <sub>2</sub> .....	25
18.8	Pengujian pada insulasi dan selubung PVC dan selubung bebas halogen pada suhu rendah .....	26

18.9	Pengujian untuk ketahanan insulasi dan selubung PVC terhadap keretakan (uji kejut panas) .....	26
18.10	Uji ketahanan ozon untuk insulasi EPR dan HEPR .....	26
18.11	Uji set panas untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE dan selubung elastomer.....	26
18.12	Uji perendaman minyak untuk selubung elastomer .....	26
18.13	Uji serap air pada insulasi .....	27
18.14	Uji bakar .....	27
18.15	Pengukuran kadar hitam karbon dari selubung terluar PE hitam.....	28
18.16	Uji pengerutan untuk insulasi XLPE .....	28
18.17	Uji tekuk khusus .....	28
18.18	Penentuan kekerasan insulasi HEPR .....	29
18.19	Penentuan modulus elastis insulasi HEPR .....	29
18.20	Uji pengerutan untuk selubung terluar PE .....	29
18.21	Uji mekanis tambahan pada selubung terluar bebas halogen .....	30
18.22	Uji serap air untuk selubung terluar bebas halogen .....	30
19	Uji listrik setelah pemasangan .....	30
	Lampiran A .....	40
	Lampiran B .....	45
	Lampiran C .....	46

## **Prakata**

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai “Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan lengkapannya untuk voltase pengenalan dari 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) sampai dengan 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Bagian 1: Kabel untuk voltase pengenalan 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) dan 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)” merupakan revisi/terjemahan dari SNI 04-7183.1-2006 dengan judul “Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan lengkapannya untuk voltase pengenalan dari 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) sampai dengan 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Bagian 1: Kabel untuk voltase pengenalan 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) dan 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)” dan diadopsi secara identik dari *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60502-1 (2004-04), *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Part 1: Cables for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)*. Bila terdapat ketidakjelasan terhadap terjemahan isi materi standar ini, maka yang dianggap berlaku adalah sebagaimana yang tertera pada teks asli IEC tersebut.

Standar ini dan dirumuskan oleh Panitia Teknis 29-07, Kabel dan konduktor listrik, melalui proses/prosedur perumusan standar dan terakhir dibahas dalam Forum Konsensus XXVII pada tanggal 14 dan 15 Nopember 2007 di Jakarta.

Dalam rangka mempertahankan mutu ketersediaan standar yang tetap mengikuti perkembangan, maka diharapkan masyarakat standardisasi ketenagalistrikan memberikan saran dan usul demi kesempurnaan rancangan ini dan untuk revisi standar ini dikemudian hari.

**Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan lengkapannya untuk voltase pengenal dari 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) sampai dengan 30 kV ( $U_m = 36$  kV) –**

**Bagian 1: Kabel untuk voltase pengenal 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) dan 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)**

## **1 Ruang lingkup**

Standar ini menentukan persyaratan konstruksi, dimensi dan pengujian kabel daya dengan insulasi padat terekstrusi untuk voltase pengenal 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) dan 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV) untuk instalasi magun seperti jaringan distribusi atau instalasi industri.

Standar ini mencakup kabel yang memperlihatkan sifat mengurangi rambatan nyala api, tingkat emisi asap yang rendah dan emisi gas bebas halogen ketika terkena api.

Kabel untuk instalasi dan kondisi pelayanan khusus tidak dicakup, misalnya kabel untuk jaringan saluran udara, industri pertambangan, PLTN (di dalam dan di sekeliling area tertutupnya), penerapan di kapal selam atau kapal laut.

## **2 Acuan normatif**

Dokumen acuan berikut sangat penting untuk penerapan dokumen ini. Untuk acuan yang bertahun, hanya edisi yang tertulis yang berlaku. Untuk acuan yang tidak bertahun, berlaku edisi termutakhir dari dokumen acuan (termasuk setiap amandemennya).

IEC 60038:1983, *IEC standard voltages*

IEC 60060-1:1989, *High-voltages test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60183:1984, *Guide to the selection of high-voltages cables*

IEC 60228:1978, *Conductors of insulated cables*

IEC 60230:1966, *Impulse test on cables and their accessories*

IEC 60332-1:1993, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable*

IEC 60332-3-24:2000, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category C*

IEC 60502-2:1997, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60684-2:1987, *Flexible insulating sleeves – Part 2: Methods of test*

IEC 60724:2000, *Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages of 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) and 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)*



IEC 60754-1:1994, *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the amount of halogen gas*

IEC 60754-2:1991, *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity*

IEC 60811-1-1:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 1: Measurement of thickness and overall dimensions – Test for determining the mechanical properties*

IEC 60811-1-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 2: Thermal ageing methods*

IEC 60811-1-3:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: General application – Section 3: Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test*

IEC 60811-1-4:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 4: Tests at low temperature*

IEC 60811-2-1:1998, *Insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Common test methods – Part 2-1: Methods specific to elastomeric compounds – Ozone resistance, hot set and mineral oil immersed tests*

IEC 60811-3-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section 1: Pressure test at high temperature – Test for resistance to cracking*

IEC 60811-3-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section 2: Loss of mass test – Thermally stability test*

IEC 60811-4-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 4: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Section 1: Resistance to environmental stress cracking – Wrapping test after thermal aging in air – Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral content measurement in PE*

IEC 61034-2:1997, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*

ISO 48, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*

### **3 Istilah dan definisi**

Untuk keperluan dokumen ini, berlaku definisi berikut.

#### **3.1 Definisi nilai dimensi (tebal, penampang dan lain-lain)**

##### **3.1.1**

##### **nilai nominal**

nilai yang besarnya ditunjukkan dan yang sering digunakan pada tabel

**CATATAN** Pada standar ini biasanya nilai nominal menyebabkan nilai harus diperiksa dengan pengukuran, dengan memperhitungkan toleransi yang ditentukan.

### **3.1.2**

#### **nilai kira-kira**

nilai yang tidak digaransi atau diperiksa; misalnya digunakan untuk perhitungan nilai dimensi lainnya

### **3.1.3**

#### **nilai median**

jika beberapa hasil uji telah diperoleh dan disusun pada urutan naik (atau turun), nilai median adalah nilai tengah jika jumlah nilai yang tersedia adalah ganjil, dan rata-rata dari dua nilai tengah jika jumlah nilai adalah genap

### **3.1.4**

#### **nilai semu**

nilai yang dihitung menurut "metode semu" yang dijelaskan pada Lampiran A

## **3.2 Definisi mengenai pengujian**

### **3.2.1**

#### **uji rutin**

pengujian yang dilakukan oleh pabrikan pada setiap panjang kabel yang diproduksi untuk memeriksa bahwa setiap panjang tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan

### **3.2.2**

#### **uji sampel**

pengujian yang dilakukan oleh pabrikan pada sampel kabel utuh atau komponen yang diambil dari kabel utuh, seberapa sering yang ditentukan, sedemikian untuk memverifikasi bahwa produk akhir memenuhi persyaratan yang ditentukan

### **3.2.3**

#### **uji tipe**

pengujian yang dilakukan sebelum menyuplai (dengan dasar komersial umum) tipe kabel yang dicakup oleh standar ini, guna mendemonstrasikan karakteristik kinerja yang memuaskan untuk memenuhi penerapan yang dimaksudkan

**CATATAN** Pengujian ini bersifat sedemikian sehingga setelah dilakukan tidak perlu pengulangan, kecuali jika dilakukan perubahan pada bahan atau desain atau proses pabrikasi kabel yang dapat mengubah karakteristik kinerja.

### **3.2.4**

#### **uji listrik setelah pemasangan**

pengujian yang dilakukan untuk mendemonstrasikan keterpaduan kabel dan lengkapannya seperti terpasang

## **4 Penyebutan voltase dan bahan**

### **4.1 Voltase pengenalan**

Voltase pengenalan  $U_0/U$  ( $U_m$ ) kabel yang dipertimbangkan pada standar ini adalah 0,6/1 (1,2) kV dan 1,8/3 (3,6) kV.

**CATATAN 1** Voltase yang diberikan di atas adalah penyebutan yang benar meskipun pada beberapa negara digunakan penyebutan lain, misalnya 1,7/3 kV atau 1,9/3,3 kV menggantikan 1,8/3 kV.

Pada penyebutan voltase kabel  $U_0/U(U_m)$ :

$U_0$  adalah voltase frekuensi daya pengenalan antara konduktor dan bumi atau skrin logam yang untuk itu kabel didesain;

$U$  adalah voltase frekuensi daya pengenalan antara konduktor yang untuk itu kabel didesain;

$U_m$  adalah nilai maksimum "voltase sistem tertinggi" yang untuk itu perlengkapan dapat digunakan (lihat IEC 60038).

Voltase pengenalan kabel untuk penerapan tertentu harus cocok untuk kondisi operasi pada sistem dimana kabel digunakan. Untuk memfasilitasi pemilihan kabel, sistem dibagi menjadi tiga kategori:

- Kategori A: kategori ini terdiri atas sistem dimana setiap konduktor fase yang kontak dengan bumi atau konduktor bumi, didiskoneksi dari sistem hingga 1 menit;
- Kategori B: kategori ini terdiri atas sistem yang pada kondisi gangguan, dioperasikan untuk waktu yang singkat dengan salah satu fase dibumikan. Periode ini menurut IEC 60183, sebaiknya tidak melebihi 1 jam. Untuk kabel yang dicakup oleh standar ini, periode lebih panjang yang tidak melebihi 8 jam pada setiap kejadian, dapat ditoleransi. Durasi total gangguan bumi tiap tahunnya sebaiknya tidak melebihi 125 jam;
- Kategori C: kategori ini terdiri atas semua sistem yang tidak termasuk dalam kategori A atau B.

CATATAN 2 Sebaiknya diketahui bahwa pada sistem dengan gangguan bumi tidak diisolasi secara otomatis dan dengan segera, stres ekstra pada insulasi kabel selama terjadi gangguan bumi mengurangi umur kabel sampai ke tingkat tertentu. Jika sistem diperkirakan akan dioperasikan agak sering dengan gangguan bumi permanen, maka dapat disarankan untuk mengklasifikasi sistem ini pada kategori C.

Nilai  $U_0$  yang direkomendasikan untuk kabel yang digunakan pada sistem fase tiga diberikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1 Voltase pengenalan  $U_0$  yang direkomendasikan**

Voltase sistem tertinggi ( $U_m$ ) kV	Voltase pengenalan ( $U_0$ ) kV	
	Kategori A dan B	Kategori C
1,2	0,6	0,6
3,6	1,8	3,6 *

\* Kategori ini dicakup oleh kabel 3,6/6 (7,2) kV menurut IEC 60502-2.

## 4.2 Kompon insulasi

Jenis komponen insulasi yang dicakup oleh standar ini diberikan dalam Tabel 2, bersama dengan singkatan penyebutannya.

Tabel 2 Kompon insulasi

Kompon insulasi	Singkatan penyebutan
a) Termoplastik  Polivinil klorida (PVC) yang dimaksudkan untuk kabel dengan voltase pengenalan $U_0/U \leq 1,8/3$ kV	PVC/A*
b) Termoset  Karet propilen etilen atau sejenis (EPM atau EPDM)	EPR
Karet propilen etilen modulus tinggi atau tingkat keras	HEPR
Polietilen ikat silang	XLPE
* Kompon insulasi berbahan PVC yang dimaksudkan untuk kabel dengan voltase pengenalan $U_0/U = 3,6/6$ kV dinamakan PVC/B dalam IEC 60502-2.	

Suhu maksimum konduktor untuk tipe kompon insulasi yang berbeda yang dicakup oleh standar ini diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Suhu maksimum konduktor untuk jenis kompon insulasi yang berbeda

Kompon insulasi		Suhu konduktor maksimum °C	
		Operasi normal	Hubung pendek (durasi maksimum 5 detik)
Polivinil klorida	(PVC/A)		
	Penampang konduktor $\leq 300$	70	160
	Penampang konduktor $> 300$	70	140
Polietilen ikat silang	(XLPE)	90	250
Karet etilen propilen	(EPR dan HEPR)	90	250

Suhu pada Tabel 3 berdasarkan pada sifat intrinsik bahan insulasi. Penting untuk memperhitungkan faktor lain jika menggunakan nilai-nilai ini untuk perhitungan peringkat arus.

Misalnya pada operasi normal, jika kabel yang langsung ditanam di dalam tanah dioperasikan pada –beban kontinu (faktor beban 100%) pada suhu konduktor maksimum yang ditunjukkan dalam tabel, resistivitas termal tanah di sekeliling kabel, dalam perjalanan waktu, dapat meningkat dari nilai aslinya sebagai hasil dari proses pengeringan. Sebagai akibatnya, suhu konduktor dapat sangat melebihi nilai maksimumnya. Jika diperkirakan terjadi kondisi operasi tersebut, ketentuan yang memadai harus dilakukan.

Sebagai pedoman untuk suhu hubung pendek, sebaiknya mengacu pada IEC 60724.

### 4.3 Kompon selubung

Suhu konduktor maksimum untuk jenis kompon selubung yang berbeda yang dicakup dalam standar ini diberikan dalam Tabel 4.

**Tabel 4 Suhu konduktor maksimum untuk tipe kompon selubung yang berbeda**

Kompon selubung	Singkatan penyebutan	Suhu konduktor maksimum pada operasi normal °C
a) Termoplastik:		
PVC	ST <sub>1</sub>	80
	ST <sub>2</sub>	90
Polietilen	ST <sub>3</sub>	80
	ST <sub>7</sub>	90
Bebas halogen	ST <sub>8</sub>	90
b) Elastomer:		
Polikloropren, polietilen klorosulfonat atau polimer sejenis	SE <sub>1</sub>	85

## 5 Konduktor

Konduktor harus dari Kelas 1 atau Kelas 2 tembaga dianil berlapis logam atau tembaga polos serta aluminium atau paduan aluminium polos, atau Kelas 5 tembaga berlapis logam atau tembaga polos sesuai dengan IEC 60228.

## 6 Insulasi

### 6.1 Bahan

Insulasi harus merupakan dielektrik terekstrusi dari salah satu jenis yang terdapat di dalam Tabel 2.

Untuk kabel bebas halogen, insulasi harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

### 6.2 Tebal insulasi

Tebal insulasi nominal ditentukan dalam Tabel 5 hingga Tabel 7.

Tebal setiap pemisah tidak boleh dicakup dalam tebal insulasi.

Tabel 5 Tebal nominal insulasi PVC/A

Luas penampang nominal konduktor mm <sup>2</sup>	Tebal nominal insulasi pada voltase pengenalan $U_0/U (U_m)$	
	0,6/1 (1,2) kV mm	1,8/3 (3,6) kV mm
1,5 dan 2,5	0,8	-
4 dan 6	1,0	-
10 dan 16	1,0	2,2
25 dan 35	1,2	2,2
50 dan 70	1,4	2,2
95 dan 120	1,6	2,2
150	1,8	2,2
185	2,0	2,2
240	2,2	2,2
300	2,4	2,4
400	2,6	2,6
500 hingga 800	2,8	2,8
1000	3,0	3,0

CATATAN Setiap penampang konduktor yang lebih kecil dari yang diberikan dalam tabel ini tidak direkomendasikan.

Tabel 6 Tebal nominal insulasi XLPE

Luas penampang nominal konduktor mm <sup>2</sup>	Tebal nominal insulasi pada voltase pengenalan $U_0/U (U_m)$	
	0,6/1 (1,2) kV mm	1,8/3 (3,6) kV mm
1,5 dan 2,5	0,7	-
4 dan 6	0,7	-
10 dan 16	0,7	2,0
25 dan 35	0,9	2,0
50	1,0	2,0
70 dan 95	1,1	2,0
120	1,2	2,0
150	1,4	2,0
185	1,6	2,0
240	1,7	2,0
300	1,8	2,0
400	2,0	2,0
500	2,2	2,2
630	2,4	2,4
800	2,6	2,6
1000	2,8	2,8

CATATAN Setiap penampang konduktor yang lebih kecil dari yang diberikan dalam tabel ini tidak direkomendasikan.

Tabel 7 Tebal nominal insulasi EPR dan HEPR

Luas penampang nominal konduktor mm <sup>2</sup>	Tebal nominal insulasi pada voltase pengenalan $U_0/U (U_m)$			
	0,6/1 (1,2) kV		1,8/3 (3,6) kV	
	EPR mm	HEPR mm	EPR mm	HEPR mm
1,5 dan 2,5	1,0	0,7	-	-
4 dan 6	1,0	0,7	-	-
10 dan 16	1,0	0,7	2,2	2,0
25 dan 35	1,2	0,9	2,2	2,0
50	1,4	1,0	2,2	2,0
70	1,4	1,1	2,2	2,0
95	1,6	1,1	2,4	2,0
120	1,6	1,2	2,4	2,0
150	1,8	1,4	2,4	2,0
185	2,0	1,6	2,4	2,0
240	2,2	1,7	2,4	2,0
300	2,4	1,8	2,4	2,0
400	2,6	2,0	2,6	2,0
500	2,8	2,2	2,8	2,2
630	2,8	2,4	2,8	2,4
800	2,8	2,6	2,8	2,6
1000	3,0	2,8	3,0	2,8

CATATAN Setiap penampang konduktor yang lebih kecil dari yang diberikan dalam tabel ini tidak direkomendasikan.

## 7 Rakitan kabel multiinti, penutup bagian dalam dan pengisi

Rakitan kabel multiinti tergantung pada voltase pengenalan dan apakah lapisan logam diterapkan di masing-masing inti.

Subayat 7.1 hingga 7.3 berikut tidak berlaku untuk rakitan kabel inti tunggal berselubung.

### 7.1 Penutup bagian dalam dan pengisi

#### 7.1.1 Konstruksi

Penutup bagian dalam dapat diekstrusi atau dibelitkan.

Untuk kabel dengan inti bulat, kecuali kabel dengan lebih dari lima inti, penutup bagian dalam dibelitkan hanya diizinkan jika rongga (*interstices*) antara inti diisi secara substansial.

Pengikat (*binder*) yang sesuai diizinkan sebelum penerapan penutup bagian dalam terekstrusi.

#### 7.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penutup bagian dalam dan pengisi harus cocok untuk suhu operasi kabel dan kompatibel dengan bahan insulasi.

Untuk kabel bebas halogen, penutup bagian dalam dan pengisi harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

### 7.1.3 Tebal penutup bagian dalam terekstrusi

Tebal kira-kira dari penutup bagian dalam terekstrusi harus diperoleh dari Tabel 8.

**Tabel 8 Tebal penutup bagian dalam terekstrusi**

Diameter semu di atas inti terpilin ( <i>laid-up</i> )		Tebal penutup bagian dalam terekstrusi (nilai kira-kira) mm
Lebih dari mm	Sampai dengan Mm	
-	25	1,0
25	35	1,2
35	45	1,4
45	60	1,6
60	80	1,8
80	-	2,0

### 7.1.4 Tebal penutup bagian dalam dibelitkan

Tebal penutup bagian dalam dibelitkan harus 0,4 mm untuk diameter semu di atas inti terpilin sampai dengan 40 mm dan 0,6 mm untuk diameter yang lebih besar.

## 7.2 Kabel dengan voltase pengenalan 0,6/1 (1,2) kV

Kabel dengan voltase pengenalan 0,6/1 (1,2) kV dapat mempunyai suatu lapisan logam yang secara kolektif mengelilingi inti.

CATATAN Pilihan antara kabel yang mempunyai dan tidak mempunyai lapisan logam tergantung pada regulasi nasional dan persyaratan instalasi untuk pencegahan kemungkinan bahaya dari kerusakan mekanis atau kontak listrik langsung.

### 7.2.1 Kabel yang mempunyai lapisan logam kolektif (lihat Ayat 8)

Kabel harus mempunyai penutup bagian dalam di atas inti terpilin. Penutup bagian dalam dan pengisi harus memenuhi 7.1.

Namun pita logam dapat diterapkan secara langsung di atas inti terakit, dengan mengabaikan penutup bagian dalam, asalkan tebal nominal masing-masing pita tidak boleh melebihi 0,3 mm dan bahwa kabel utuh memenuhi uji tekuk khusus yang ditentukan dalam 18.17.

### 7.2.2 Kabel tanpa lapisan logam kolektif (lihat Ayat 8)

Penutup bagian dalam dapat diabaikan, asalkan bentuk terluar kabel tetap bulat dan tidak terjadi pelekatan antara inti dan selubung.

Selubung terluar dapat menembus ke dalam rongga inti, kecuali dalam hal selubung terluar termoplastik di atas inti bulat melebihi 10 mm<sup>2</sup>.

Namun jika diterapkan penutup bagian luar, tebalnya tidak perlu memenuhi 7.1.3 atau 7.1.4.



### **7.3 Kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV**

Kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV harus mempunyai lapisan logam mengelilingi inti secara individu atau kolektif.

#### **7.3.1 Kabel yang hanya mempunyai lapisan logam kolektif (lihat Ayat 8)**

Kabel harus mempunyai penutup bagian dalam di atas pilinan inti. Penutup bagian dalam dan pengisi harus memenuhi 7.1 dan harus nonhigroskopik.

#### **7.3.2 Kabel yang mempunyai lapisan logam di atas masing-masing inti individu (lihat Ayat 9)**

Lapisan logam dari inti individu harus kontak satu sama lain.

Kabel dengan lapisan logam kolektif tambahan (lihat Ayat 8) dari bahan yang sama seperti lapisan logam individu di bawahnya harus mempunyai penutup bagian dalam di atas inti terpilin. Penutup bagian dalam dan pengisi harus memenuhi 7.1 dan harus nonhigroskopik.

Bila lapisan logam individu di bawahnya dan lapisan logam kolektif berbeda bahan, maka harus dipisahkan oleh selubung terekstrusi dari salah satu bahan yang ditentukan dalam 13.2. Untuk kabel berselubung timbel, pemisahan dari lapisan logam individu di bawahnya dapat diperoleh dengan penutup bagian dalam menurut 7.1.

Untuk kabel tanpa armor, konduktor konsentris atau lapisan logam kolektif lain (lihat Ayat 8), penutup bagian dalam dapat diabaikan, asalkan bentuk terluar dari kabel tetap bulat. Selubung terluar dapat menembus ke dalam rongga inti, kecuali dalam hal selubung terluar termoplastik di atas inti bulat melebihi 10 mm<sup>2</sup>. Namun bila penutup bagian dalam diterapkan, tebalnya tidak perlu memenuhi 7.1.3 atau 7.1.4.

## **8 Lapisan logam untuk kabel inti tunggal dan multi inti**

Jenis lapisan logam berikut dicakup dalam standar ini:

- a) skrin logam (lihat Ayat 9);
- b) konduktor konsentris (lihat Ayat 10);
- c) selubung timbel (lihat Ayat 11);
- d) armor logam (lihat Ayat 12).

Lapisan logam harus terdiri atas satu atau lebih jenis yang terdaftar di atas dan harus nonmagnetik ketika diterapkan baik pada kabel inti tunggal maupun inti individu dari kabel multiinti.

## **9 Skrin logam**

### **9.1 Konstruksi**

Skrin logam harus terdiri atas satu atau lebih pita, atau anyaman, atau lapisan konsentris dari kawat atau kombinasi kawat dan pita.

Juga dapat berupa selubung atau dalam hal skrin kolektif, armor yang memenuhi 9.2.

Ketika memilih bahan skrin, harus diberikan pertimbangan khusus terhadap kemungkinan korosi, tidak hanya untuk keselamatan mekanis tetapi juga untuk keselamatan listrik.

Celah pada skrin harus memenuhi peraturan nasional dan/atau SNI.

## 9.2 Persyaratan

Persyaratan dimensi, fisik dan listrik skrin logam harus ditentukan dengan peraturan nasional dan/atau SNI.

## 10 Konduktor konsentris

### 10.1 Konstruksi

Celah pada konduktor konsentris harus memenuhi peraturan nasional dan/atau SNI.

Ketika memilih bahan konduktor konsentris, harus diberikan pertimbangan khusus terhadap kemungkinan korosi, tidak hanya untuk keselamatan mekanis tetapi juga untuk keselamatan listrik.

### 10.2 Persyaratan

Persyaratan dimensi, fisik dan listrik konduktor konsentris harus ditentukan oleh peraturan nasional dan/atau SNI.

### 10.3 Penerapan

Jika diperlukan konduktor konsentris, maka harus diterapkan di atas penutup bagian-dalam dalam hal kabel multiinti; dalam hal kabel inti tunggal, harus diterapkan baik secara langsung di atas insulasi atau di atas penutup bagian dalam yang sesuai.

## 11 Selubung timbel

Selubung harus terdiri atas timbel atau paduan timbel dan harus diterapkan seperti pipa nirkampuh terpasang kuat.

Tebal nominal harus dihitung dengan rumus berikut:

a) untuk semua kabel inti tunggal atau rakitannya:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,8$$

b) untuk semua kabel dengan konduktor berbentuk sektor:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,6$$

c) untuk semua kabel lain:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,7$$

dengan

$t_{pb}$  adalah tebal nominal selubung timbel, dalam milimeter;

$D_g$  adalah diameter semu di bawah selubung timbel, dalam milimeter (dibulatkan ke satu desimal sesuai dengan Lampiran B)

Dalam semua hal, tebal nominal terkecil harus 1,2 mm. Nilai terhitung harus dibulatkan ke satu desimal (lihat Lampiran B).

## **12 Armor logam**

### **12.1 Jenis armor logam**

Jenis armor yang dicakup oleh standar ini adalah sebagai berikut:

- a) armor kawat pipih;
- b) armor kawat bulat;
- c) armor pita dobel.

**CATATAN** Untuk kabel dengan voltase pengenalan 0,6/1 (1,2) kV dengan luas penampang konduktor tidak melebihi 6 mm<sup>2</sup>, armor anyaman kawat baja galvanis dapat diberikan dengan kesepakatan antara pabrikan dan pembeli.

### **12.2 Bahan**

Kawat pipih atau bulat harus baja galvanis, tembaga atau tembaga lapis timah, aluminium atau paduan aluminium.

Pita harus dari baja, baja galvanis, aluminium atau paduan aluminium. Pita baja harus dirol panas atau dingin bermutu komersial.

Pada kasus tersebut jika lapisan kawat armor baja disyaratkan memenuhi konduktansi minimum, maka dapat diizinkan memasukkan tembaga atau tembaga lapis timah yang cukup pada lapisan armor untuk memastikan kesesuaian.

Ketika memilih bahan armor, harus dipertimbangkan secara khusus kemungkinan korosi, tidak hanya untuk keselamatan mekanis tetapi juga untuk keselamatan listrik, khususnya jika armor digunakan sebagai skrin.

Armor kabel inti tunggal untuk digunakan pada sistem a.b. harus terdiri atas bahan nonmagnetik, kecuali jika dipilih konstruksi khusus.

### **12.3 Penerapan armor**

#### **12.3.1 Kabel inti tunggal**

Dalam hal kabel inti tunggal, penutup bagian dalam, diekstrusi atau dibelitkan dengan tebal seperti yang ditentukan pada 7.1.3 atau 7.1.4 harus diterapkan di bawah armor.

#### **12.3.2 Kabel multiinti**

Dalam hal kabel multiinti, armor tersebut diterapkan pada penutup bagian dalam yang memenuhi 7.1, kecuali untuk penerapan khusus dengan menggunakan pita logam, lihat 7.2.1.

#### **12.3.3 Selubung pemisah**

Jika lapisan logam di bawahnya dan armor dari bahan yang berbeda, maka harus dipisahkan oleh selubung terekstrusi dari salah satu bahan yang ditentukan dalam 13.2.

Untuk kabel bebas halogen, selubung pemisah ( $ST_8$ ) harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

Jika diperlukan armor pada kabel berselubung timbel, maka armor tersebut diterapkan di atas bantalan dibelitkan (*lapped-bedding*) menurut 12.3.4.

Jika digunakan selubung pemisah, maka harus diterapkan di bawah armor sebagai pengganti, atau sebagai tambahan pada penutup bagian dalam.

Tebal nominal selubung pemisah  $T_s$  yang dinyatakan dalam milimeter harus dihitung dengan rumus berikut:

$$T_s = 0,02 D_u + 0,6$$

dengan  $D_u$  adalah diameter semu di bawah selubung ini, dalam milimeter, dihitung seperti dijelaskan pada Lampiran A.

Nilai yang dihasilkan dari rumus tersebut harus dibulatkan ke 0,1 mm yang terdekat (lihat Lampiran B).

Untuk kabel tanpa selubung timbel, tebal nominal tidak boleh kurang dari 1,2 mm. Untuk kabel dengan selubung pemisah yang secara langsung diterapkan di atas selubung timbel, tebal nominal tidak boleh kurang dari 1,0 mm.

#### 12.3.4 Bantalan dibelitkan di bawah armor untuk kabel berselubung timbel

Bantalan dibelitkan yang diterapkan pada selubung timbel berlapis kompon harus terdiri atas pita kertas diimpregnasi dan dikompon maupun kombinasi dari dua lapisan pita kertas diimpregnasi dan dikompon diikuti oleh satu atau lebih lapisan bahan serat dikompon.

Impregnasi bahan bantalan dapat dilakukan dengan kompon pengawet bitumen atau kompon pengawet lain. Dalam hal armor kawat, kompon ini tidak boleh diterapkan langsung di bawah kawat.

Pita sintetis dapat diterapkan sebagai pengganti pita kertas diimpregnasi.

Tebal total bantalan dibelitkan antara selubung timbel dan armor setelah penerapan armor harus mempunyai nilai kira-kira 1,5 mm.

#### 12.4 Dimensi kawat armor dan pita armor

Dimensi nominal kawat armor dan pita armor sebaiknya salah satu dari nilai berikut:

Kawat bulat:

diameter 0,8 – 1,25 – 1,6 – 2,0 – 2,5 – 3,15 mm;

Kawat pipih:

tebal 0,8 mm;

Pita baja:

tebal 0,2 – 0,5 – 0,8 mm;

Pita aluminium atau paduan aluminium:

tebal 0,5 – 0,8 mm.

#### 12.5 Korelasi antara diameter kabel dan dimensi armor

Diameter nominal kawat armor bulat dan tebal nominal pita armor tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan dalam Tabel 9 dan 10.

**Tabel 9 Diameter nominal kawat armor bulat**

Diameter semu di bawah armor		Diameter nominal kawat armor mm
Lebih dari mm	Sampai dengan mm	
-	10	0,8
10	15	1,25
15	25	1,6
25	35	2,0
35	60	2,5
60	-	3,15

**Tabel 10 Tebal nominal pita armor**

Diameter semu di bawah armor		Tebal nominal pita	
Lebih dari mm	Sampai dengan mm	Baja atau baja galvanis mm	Aluminium atau paduan aluminium mm
-	30	0,2	0,5
30	70	0,5	0,5
70	-	0,8	0,8
CATATAN Tabel ini tidak berlaku untuk kabel yang mempunyai pita logam yang diterapkan secara langsung di atas inti terakit (lihat 7.2.1).			

Untuk diameter kawat armor pipih dan diameter semu di bawah armor yang lebih besar dari 15 mm, tebal nominal kawat baja pipih harus 0,8 mm. Kabel dengan diameter semu di bawah armor sampai dengan 15 mm tidak boleh berarmor dengan kawat pipih.

## 12.6 Armor kawat bulat atau pipih

Armor kawat harus ditutup, yaitu dengan sebuah celah minimum antara kawat yang berdampingan. Spiral terbuka yang terdiri atas pita baja galvanis dengan tebal nominal sekurangnya 0,3 mm dapat diberikan di atas armor kawat baja pipih dan di atas armor kawat baja bulat, jika diperlukan. Toleransi pada pita baja ini harus memenuhi 16.7.3.

## 12.7 Armor pita dubel

Jika digunakan suatu armor pita dan penutup bagian dalam yang ditentukan dalam 7.1, maka penutup bagian dalam harus diperkuat dengan bantalan pita. Tebal total penutup bagian dalam dan bantalan pita tambahan harus seperti yang diberikan dalam 7.1 ditambah 0,5 mm jika tebal pita armor 0,2 mm dan ditambah 0,8 mm jika tebal pita armor lebih dari 0,2 mm.

Tebal total penutup bagian dalam dan bantalan pita tambahan tidak boleh kurang dari nilai ini dengan lebih dari 0,2 mm dengan toleransi + 20 %.

Jika selubung pemisah disyaratkan atau jika penutup bagian dalam diekstrusi dan memenuhi persyaratan 12.3.3, tidak diperlukan bantalan pita tambahan.

Pita armor harus diterapkan secara spiral pada dua lapisan sedemikian sehingga pita bagian luar kira-kira di tengah-tengah celah pita bagian dalam. Celah antara lilitan yang berdampingan dari masing-masing pita tidak boleh melebihi 50 % lebar pita.

### 13 Selubung terluar (*oversheath*)

#### 13.1 Umum

Semua kabel harus mempunyai selubung terluar.

Selubung terluar biasanya hitam, tetapi warna selain hitam dapat diberikan dengan kesepakatan antara pabrikan dan pembeli, berdasarkan kecocokannya untuk kondisi khusus tempat kabel akan digunakan.

CATATAN Uji kestabilan UV sedang dalam pertimbangan.

#### 13.2 Bahan

Selubung terluar harus terdiri atas kompon termoplastik (PVC atau polietilen atau bebas halogen) atau kompon elastomer (polikloropren, polietilen klorosulfonat atau polimer serupa).

Bahan selubung bebas halogen harus digunakan pada kabel yang menunjukkan sifat mengurangi rambatan nyala api, emisi asap dan emisi gas bebas halogen tingkat rendah ketika terkena api. Selubung terluar kabel bebas halogen (ST<sub>8</sub>) harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

Bahan selubung harus sesuai untuk suhu operasi menurut Tabel 4.

Bahan aditif kimia dapat diperlukan pada selubung terluar untuk keperluan khusus, misalnya proteksi rayap, tetapi sebaiknya tidak mencakup bahan yang berbahaya terhadap manusia dan/atau lingkungan.

CATATAN Contoh bahan<sup>1)</sup> yang dianggap tidak diinginkan mencakup:

- Aldrin: 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene
- Dieldrin: 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene
- Lindane: *Gamma isomer* 1,2,3,4,5,6-hexachloro-cyclohexane.

#### 13.3 Ketebalan

Kecuali ditentukan lain, tebal nominal  $t_s$  yang dinyatakan dalam milimeter harus dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$t_s = 0,035 D + 1,0$$

dengan  $D$  adalah diameter semu yang langsung di bawah selubung terluar, dalam milimeter (lihat Lampiran A).

Nilai yang dihasilkan dari rumus harus dibulatkan ke 0,1 mm terdekat (lihat Lampiran B).

Untuk kabel nirarmor dan kabel dengan selubung terluar yang tidak diterapkan langsung di atas armor, skrin logam atau konduktor konsentris, tebal nominal tidak boleh kurang dari 1,4 mm untuk kabel inti tunggal dan 1,8 mm untuk kabel multiinti.

Untuk kabel dengan selubung terluar yang diterapkan langsung di atas armor, skrin logam atau konduktor konsentris, tebal nominal tidak boleh kurang dari 1,8 mm.

<sup>1)</sup> Sumber: *Dangerous properties of industrial materials*, N.I. Sax, edisi ke lima, Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-422-27373-8.

## **14 Kondisi uji**

### **14.1 Suhu ambien**

Kecuali ditentukan lain pada rincian untuk pengujian khusus, pengujian harus dilakukan pada suhu ambien ( $20 \pm 15$ ) °C.

### **14.2 Frekuensi dan bentuk gelombang voltase uji frekuensi daya**

Frekuensi voltase uji a.b. harus dalam julat 49 Hz hingga 61 Hz. Bentuk gelombang secara substansi harus berbentuk sinusoidal. Nilainya adalah nilai efektif.

### **14.3 Bentuk gelombang voltase uji impuls**

Sesuai dengan IEC 60230, gelombang impuls harus mempunyai waktu muka virtual antara 1  $\mu$ s dan 5  $\mu$ s dan waktu nominal sampai ke paruh nilai puncak antara 40  $\mu$ s dan 60  $\mu$ s, dan selain itu harus sesuai dengan IEC 60060-1.

## **15 Uji rutin**

### **15.1 Umum**

Uji rutin biasanya dilakukan pada setiap panjang kabel yang diproduksi (lihat 3.2.1). Namun, panjang kabel yang akan diuji dapat dikurangi menurut prosedur kendali mutu yang disepakati.

Uji rutin yang disyaratkan dalam standar ini mencakup:

- a) pengukuran resistans listrik konduktor (lihat 15.2)
- b) uji voltase (lihat 15.3)

### **15.2 Resistans listrik konduktor**

Pengukuran resistans harus dilakukan pada semua konduktor pada setiap panjang kabel yang diserahkan untuk uji rutin, termasuk konduktor konsentris, jika ada.

Panjang kabel utuh, atau sampel dari kabel tersebut, harus ditempatkan di dalam ruang uji yang harus dipertahankan pada suhu agak konstan selama sekurangnya 12 jam sebelum pengujian. Jika ada keraguan apakah suhu konduktor sama dengan suhu ruang, maka resistans harus diukur setelah kabel diuji selama 24 jam di dalam ruang uji. Sebagai alternatif, resistans dapat diukur pada sampel konduktor yang dikondisikan sekurangnya 1 jam di dalam kolam cairan dengan suhu terkendali.

Nilai resistans terukur harus dikoreksi ke suhu 20 °C dan panjang 1 km sesuai dengan rumus dan faktor yang diberikan dalam IEC 60228.

Resistans a.s setiap konduktor pada 20 °C tidak boleh melebihi nilai maksimum yang sesuai yang ditentukan dalam IEC 60228. Untuk konduktor konsentris, resistans harus memenuhi peraturan nasional dan/atau SNI.

### 15.3 Uji voltase

#### 15.3.1 Umum

Uji voltase harus dilakukan pada suhu ambien, dengan menggunakan voltase a.b. pada frekuensi daya atau voltase a.s., pada opsi pabrikan.

#### 15.3.2 Prosedur uji untuk kabel inti tunggal

Untuk kabel berskrin inti tunggal, voltase uji harus diterapkan selama 5 menit antara konduktor dan skrin logam.

Kabel berskrin inti tunggal harus direndam dalam air pada suhu ruang selama 1 jam dan voltase uji kemudian diterapkan selama 5 menit antara konduktor dan air.

CATATAN Uji laku dalam pertimbangan untuk kabel inti tunggal tanpa sebarang lapisan logam.

#### 15.3.3 Prosedur uji untuk kabel multiinti

Untuk kabel multiinti dengan inti berskrin individu, voltase uji harus diterapkan selama 5 menit antara setiap konduktor dan lapisan logam.

Untuk kabel multiinti tanpa inti berskrin individu, voltase uji harus diterapkan selama 5 menit secara bergantian antara masing-masing konduktor berinsulasi dan semua konduktor lain serta lapisan logam kolektif, jika ada.

Konduktor dapat dihubungkan dengan cocok untuk penerapan berturut-turut voltase uji untuk membatasi waktu uji total, asalkan urutan hubungan memastikan bahwa voltase diterapkan selama sekurangnya 5 menit tanpa pemutusan antara masing-masing konduktor dan masing-masing konduktor lain dan antara masing-masing konduktor dan lapisan logam, jika ada.

Sebagai alternatif, kabel inti tiga dapat diuji pada operasi tunggal dengan menggunakan transformator fase tiga.

#### 15.3.4 Voltase uji

Voltase uji frekuensi daya harus  $2,5 U_0 + 2$  kV. Nilai voltase uji fase tunggal untuk voltase pengenalan standar diberikan dalam Tabel 11.

**Tabel 11 Voltase uji rutin**

<b>Voltase pengenalan <math>U_0</math></b>	kV	0,6	1,8
<b>Voltase uji</b>	kV	3,5	6,5

Jika untuk kabel inti tiga, uji voltase dilakukan dengan transformator fase tiga, voltase uji antara fase harus 1,73 kali nilai yang diberikan dalam tabel ini.

Dalam semua hal, voltase uji harus dinaikkan secara bertahap ke nilai yang ditentukan.

#### 15.3.5 Persyaratan

Tidak boleh terjadi tembus insulasi.



## 16 Uji sampel

### 16.1 Umum

Uji sampel yang disyaratkan oleh standar ini mencakup:

- a) pemeriksaan konduktor (lihat 16.4)
- b) pemeriksaan dimensi (lihat 16.5 hingga 16.8);
- c) uji set panas untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE serta selubung elastomer (lihat 16.9).

### 16.2 Frekuensi uji sampel

#### 16.2.1 Pemeriksaan konduktor dan pemeriksaan dimensi

Pemeriksaan konduktor, pengukuran tebal insulasi dan selubung dan pengukuran diameter total harus dilakukan pada salah satu panjang dari masing-masing seri pembuatan dengan penampang nominal dan tipe yang sama dari kabel, tetapi harus dibatasi hingga tidak melebihi 10% panjang kabel yang tercantum dalam setiap kontrak.

#### 16.2.2 Uji fisik

Uji fisik harus dilakukan pada sampel yang diambil dari kabel yang diproduksi menurut prosedur kendali mutu yang disepakati. Jika tanpa kesepakatan tersebut, untuk kontrak kabel dengan panjang total lebih dari 2 km untuk kabel multiinti, atau 4 km untuk kabel inti tunggal, pengujian harus dilakukan berdasarkan Tabel 12.

**Tabel 12 Jumlah sampel untuk uji sampel**

Panjang kabel				Jumlah sampel
Kabel multiinti		Kabel inti tunggal		
Lebih dari Km	Sampai dengan km	Lebih dari km	Sampai dengan km	
2	10	4	20	1
10	20	20	40	2
20	30	40	60	3
dst.		dst.		dst

### 16.3 Pengulangan uji

Jika sebarang sampel gagal pada sebarang pengujian dalam Ayat 16, dua sampel berikutnya harus diambil dari *batch* yang sama dan diserahkan untuk pengujian yang sama atau pengujian dengan sampel asli gagal. Jika kedua sampel tambahan lulus uji, seluruh kabel *batch* tempat sampel diambil harus dianggap memenuhi persyaratan standar ini. Jika salah satu sampel tambahan gagal, maka *batch* tempat kabel tersebut diambil harus dianggap gagal memenuhi persyaratan.

### 16.4 Pemeriksaan konduktor

Kesesuaian dengan persyaratan dari IEC 60228 untuk konstruksi konduktor harus diperiksa dengan inspeksi dan pengukuran, jika dapat dipraktikkan.

## 16.5 Pengukuran tebal insulasi dan selubung nonlogam (termasuk selubung pemisah terekstrusi, tetapi tidak termasuk penutup tersekstrusi bagian dalam)

### 16.5.1 Umum

Metode uji harus sesuai dengan Ayat 8 dari IEC 60811-1-1.

Setiap panjang kabel yang dipilih untuk pengujian harus diwakili oleh sepotong kabel yang diambil dari salah satu ujung setelah membuang (jika perlu) setiap bagian yang telah rusak.

Untuk kabel yang mempunyai lebih dari tiga inti dengan konduktor yang berpenampang nominal sama, jumlah inti tempat pengukuran dilakukan harus dibatasi pada tiga inti atau 10 % jumlah inti, pilih yang lebih besar.

### 16.5.2 Persyaratan untuk insulasi

Untuk setiap potongan inti, rata-rata nilai terukur, dibulatkan ke 0,1 mm menurut Lampiran B, tidak boleh kurang dari tebal nominal, dan nilai terukur terkecil tidak boleh kurang dari 90% nilai nominal dengan lebih dari 0,1 mm, yaitu:

$$t_m \geq 0,9 t_n - 0,1$$

dengan:

$t_m$  adalah tebal maksimum, dalam milimeter;

$t_n$  adalah tebal nominal, dalam milimeter.

### 16.5.3 Persyaratan untuk selubung nonlogam

Potongan selubung harus memenuhi berikut:

- a) untuk kabel nirarmor dan kabel dengan selubung luar yang tidak diterapkan langsung di atas armor, skrin logam atau konduktor konsentris, maka nilai terukur terkecil tidak boleh kurang dari 85% nilai nominal dengan lebih dari 0,1 mm, yaitu:

$$t_m \geq 0,85 t_n - 0,1$$

- b) untuk selubung terluar yang diterapkan langsung di atas armor, skrin logam atau konduktor konsentris dan untuk selubung pemisah, nilai terukur terkecil tidak boleh kurang dari 80% nilai nominal dengan lebih dari 0,2 mm, yaitu:

$$t_m \geq 0,8 t_n - 0,2$$

## 16.6 Pengukuran tebal selubung timbel

Tebal minimum selubung timbel harus ditentukan dengan salah satu metode berikut, sesuai kebijakan pabrikan, dan tidak boleh kurang dari 95% nilai nominal dengan lebih dari 0,1 mm, yaitu:

$$t_m \geq 0,95 t_n - 0,1$$

**CATATAN** Metode pengukuran tebal untuk tipe lain dari selubung logam sedang dalam pertimbangan.

### 16.6.1 Metode bilah

Pengukuran harus dilakukan dengan mikrometer dengan permukaan datar berdiameter 4 mm hingga 8 mm dan keakuratan  $\pm 0,01$  mm.

Pengukuran harus dilakukan pada potongan selubung uji kira-kira sepanjang 50 mm, yang dipotong dari kabel utuh. Potongan tersebut harus dibelah secara longitudinal dan dipipihkan dengan hati-hati. Setelah membersihkan potongan uji, lakukan sejumlah pengukuran yang cocok di sepanjang keliling selubung dan jaraknya tidak kurang dari 10 mm dari ujung potongan yang dipipihkan untuk memastikan bahwa yang diukur adalah tebal minimum.

#### **16.6.2 Metode cincin**

Pengukuran harus dilakukan dengan mikrometer yang mempunyai satu ujung pipih dan satu bundar, atau satu ujung pipih dan satu ujung persegi pipih dengan lebar 0,8 mm dan panjang 2,4 mm. Ujung bundar atau persegi pipih harus diterapkan ke bagian dalam cincin. Keakuratan mikrometer harus  $\pm 0,01$  mm.

Pengukuran harus dilakukan pada cincin selubung yang dipotong secara hati-hati dari sampel. Tebal harus ditentukan pada sejumlah titik yang sesuai di sekitar keliling cincin untuk memastikan bahwa yang diukur adalah tebal minimum.

### **16.7 Pengukuran kawat dan pita armor**

#### **16.7.1 Pengukuran kawat**

Diameter kawat bulat dan tebal kawat pipih harus diukur dengan sarana mikrometer yang mempunyai dua ujung pipih dengan keakuratan  $\pm 0,01$  mm. Untuk kawat bulat, harus dilakukan dua pengukuran pada sudut tegak lurus satu sama lain pada posisi yang sama dan rata-rata kedua nilai diambil sebagai diameter.

#### **16.7.2 Pengukuran pita**

Pengukuran harus dilakukan dengan mikrometer yang mempunyai dua ujung pipih dengan diameter kira-kira 5 mm dan keakuratan  $\pm 0,01$  mm. Untuk pita dengan lebar sampai dengan 40 mm, tebal harus diukur di pusat lebar tersebut. Untuk pita yang lebih lebar, pengukuran harus dilakukan sejauh 20 mm dari setiap ujung pita dan rata-rata hasil pengukuran diambil sebagai tebalnya.

#### **16.7.3 Persyaratan**

Dimensi kawat dan pita armor tidak boleh kurang dari nilai nominal yang diberikan pada 12.5 dengan lebih dari:

- 5 % untuk kawat bulat;
- 8 % untuk kawat pipih;
- 10 % untuk pita.

### **16.8 Pengukuran diameter eksternal**

Jika pengukuran diameter eksternal kabel disyaratkan sebagai uji sampel, maka harus dilakukan sesuai dengan Ayat 8 dari IEC 60811-1.

### **16.9 Uji set panas untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE serta selubung elastomer**

#### **16.9.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan dengan Ayat 9 dari IEC 60811-2-1, dengan menggunakan kondisi yang diberikan dalam Tabel 17 dan 22.

### 16.9.2 Persyaratan

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 17, untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE, dan dalam Tabel 23 untuk selubung SE<sub>1</sub>.

## 17 Uji tipe, listrik

Sampel dari kabel utuh, dengan panjang 10 m hingga 15 m, harus dikenai pengujian berikut, yang diterapkan secara berturut-turut:

- a) pengukuran resistans insulasi pada suhu ambien (lihat 17.1);
- b) pengukuran resistans insulasi pada suhu konduktor maksimum dalam operasi normal (lihat 17.2);
- c) uji voltase selama 4 jam (lihat 17.3).

Kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV juga harus dikenai uji impuls pada sampel terpisah kabel utuh, dengan panjang 10 m hingga 15 m (lihat 17.4).

Pengujian harus dibatasi tidak lebih dari tiga inti.

### 17.1 Pengukuran resistans insulasi pada suhu ambien

#### 17.1.1 Prosedur

Pengujian ini harus dilakukan pada panjang sampel sebelum sebarang uji listrik lainnya.

Semua penutup bagian luar harus dilepas dan inti harus direndam di dalam air pada suhu ambien selama sekurangnya 1 jam sebelum pengujian.

Voltase uji a.s. harus antara 80 V dan 500 V dan harus diterapkan selama waktu yang cukup untuk mencapai pengukuran agak tunak, tetapi dalam setiap hal tidak kurang dari 1 menit dan tidak lebih dari 5 menit.

Pengukuran harus dilakukan antara masing-masing konduktor dan air.

Jika disyaratkan, pengukuran dapat ditegaskan pada suhu  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ .

#### 17.1.2 Perhitungan

Resistivitas volume harus dihitung dari resistans insulasi terukur dengan rumus berikut:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

dengan

- $\rho$  adalah resistivitas volume, dalam ohm.centimeter;
- $R$  adalah resistans insulasi terukur, dalam ohm;
- $l$  adalah panjang kabel, dalam centimeter;
- $D$  adalah diameter bagian luar insulasi, dalam milimeter;
- $d$  adalah diameter bagian dalam insulasi, dalam milimeter.

“Konstanta resistans insulasi  $K_i$ ” yang dinyatakan dalam megaohm.kilometer dapat juga dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K_i = \frac{l \times R \times 10^{-11}}{\log \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0,367 \times \rho$$

CATATAN Untuk inti konduktor sektor, rasio  $D/d$  adalah rasio perimeter luar insulasi terhadap perimeter luar konduktor.

### 17.1.3 Persyaratan

Nilai yang dihitung dari pengukuran tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan dalam Tabel 13.

## 17.2 Pengukuran resistans insulasi pada suhu konduktor maksimum

### 17.2.1 Prosedur

Inti sampel kabel harus direndam di dalam air pada suhu hingga  $\pm 2$  °C dari suhu konduktor maksimum pada operasi normal selama sekurangnya 1 jam sebelum pengujian.

Voltase uji a.s. harus 80 V hingga 500 V dan harus diterapkan selama waktu yang cukup untuk mencapai pengukuran agak tunak, tetapi dalam setiap hal tidak kurang dari 1 menit dan tidak lebih dari 5 menit.

Pengukuran harus dilakukan pada antara masing-masing konduktor dan air.

### 17.2.2 Perhitungan

Resistivitas volume dan/atau konstanta resistans insulasi harus dihitung dari resistans insulasi dengan rumus yang diberikan pada 17.1.2.

### 17.2.3 Persyaratan

Nilai yang dihitung dari pengukuran tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan dalam Tabel 13.

## 17.3 Uji voltase selama 4 jam

### 17.3.1 Prosedur

Inti sampel kabel harus direndam di dalam air pada suhu ambien sekurangnya selama 1 jam sebelum pengujian.

Voltase frekuensi daya sama dengan  $4 U_0$  kemudian harus diterapkan secara bertahap dan dipertahankan secara kontinu selama 4 jam antara masing-masing konduktor dan air.

### 17.3.2 Persyaratan

Tidak boleh terjadi tembus insulasi.

## **17.4 Uji impuls untuk kabel dengan voltase pengenalan 1,8/3 (3,6) kV**

### **17.4.1 Prosedur**

Pengujian ini harus dilakukan pada sampel pada suhu konduktor antara 5 °C dan 10 °C di atas suhu konduktor maksimum pada operasi normal.

Voltase impuls harus diterapkan menurut prosedur yang diberikan pada IEC 60230 dan harus mempunyai nilai puncak 40 kV.

Untuk kabel multiinti yang intinya tidak berskrin individu, setiap seri impuls harus diterapkan bergantian antara setiap fase konduktor dan semua konduktor lain yang dihubungkan bersama dan ke bumi.

### **17.4.2 Persyaratan**

Setiap inti kabel harus tahan terhadap impuls voltase 10 positif dan 10 negatif tanpa kegagalan.

## **18 Uji tipe, nonlistrik**

Uji tipe nonlistrik yang disyaratkan oleh standar ini diberikan dalam Tabel 14.

### **18.1 Pengukuran tebal insulasi**

#### **18.1.1 Pengambilan sampel**

Satu sampel harus diambil dari setiap inti kabel berinsulasi.

Untuk kabel yang mempunyai lebih dari tiga inti dengan konduktor berpenampang nominal sama, jumlah inti tempat pengukuran dilakukan harus dibatasi hingga tiga inti atau 10 % jumlah inti, pilih yang lebih besar.

#### **18.1.2 Prosedur**

Pengukuran harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.1.3 Persyaratan**

Lihat 16.5.2.

### **18.2 Pengukuran tebal selubung nonlogam (termasuk selubung pemisah terekstrusi, tetapi tidak termasuk penutup bagian dalam)**

#### **18.2.1 Pengambilan sampel**

Satu sampel kabel harus diambil.

#### **18.1.2 Prosedur**

Pengukuran harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 8.2 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.1.3 Persyaratan**

Lihat 16.5.3.

### **18.3 Pengujian untuk menentukan sifat mekanis insulasi sebelum dan setelah penuaan**

#### **18.3.1 Pengambilan sampel**

Pengambilan sampel dan penyiapan potongan uji harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 9.1 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.3.2 Perlakuan penuaan**

Perlakuan penuaan harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1 dari IEC 60811-1-2 pada kondisi yang ditentukan dalam Tabel 15.

Uji tarik dan uji tekuk setelah penuaan dengan konduktor tembaga dari Tabel 15 hanya dapat diterapkan pada kabel 0,6/1 (1,2) kV. Uji tekuk hanya dilakukan pada kabel yang insulasinya tidak dapat dikenai uji tarik.

**CATATAN** Uji tarik dan uji tekuk direkomendasikan dilakukan setelah penuaan pada konduktor tembaga. Namun selama ini telah diperoleh informasi yang tidak lengkap untuk membuat persyaratan ini wajib, kecuali dengan kesepakatan antara pembeli dan pabrikan.

#### **18.3.3 Pengondisian dan uji mekanis**

Pengondisian dan pengukuran sifat mekanis harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 9.1 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.3.4 Persyaratan**

Hasil uji untuk potongan uji dengan penuaan dan tanpa penuaan harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 15.

### **18.4 Pengujian untuk menentukan sifat mekanis selubung nonlogam sebelum dan setelah penuaan**

#### **18.4.1 Pengambilan sampel**

Pengambilan sampel dan penyiapan potongan uji harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 9.2 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.4.2 Perlakuan penuaan**

Perlakuan penuaan harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1 dari IEC 60811-1-2 pada kondisi yang ditentukan dalam Tabel 18.

#### **18.4.3 Pengondisian dan uji mekanis**

Pengondisian dan pengukuran sifat mekanis harus dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada 9.2 dari IEC 60811-1-1.

#### **18.4.4 Persyaratan**

Hasil uji untuk potongan uji dengan penuaan dan tanpa penuaan harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 18.

## **18.5 Uji penuaan tambahan pada potongan kabel utuh**

### **18.5.1 Umum**

Pengujian ini dimaksudkan untuk memeriksa bahwa insulasi dan selubung nonlogam tidak dapat memburuk dalam operasi karena kontak dengan komponen lain pada kabel.

Pengujian ini dapat diterapkan pada semua jenis kabel.

### **18.5.2 Pengambilan sampel**

Sampel harus diambil dari kabel utuh sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1.4 dari IEC 60811-1-2.

### **18.5.3 Perlakuan penuaan**

Perlakuan penuaan terhadap potongan kabel harus dilakukan di dalam oven udara, sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1.4 dari IEC 60811-1-2 dengan kondisi berikut:

- suhu:  $(10 \pm 2)$  °C di atas suhu konduktor maksimum kabel pada operasi normal (lihat Tabel 15);
- durasi: 7 x 24 jam.

### **18.5.4 Uji mekanis**

Potongan uji insulasi dan selubung terluar dari potongan kabel yang diberi penuaan harus disiapkan dan dikenai uji mekanis sebagaimana yang dijelaskan pada 8.1.4 dari IEC 60811-1-2.

### **18.5.5 Persyaratan**

Variasi antara nilai median kuat tarik dan pemuluran saat putus setelah penuaan dan nilai terkait yang diperoleh tanpa penuaan (lihat 18.3 dan 18.4) tidak boleh melebihi nilai yang diterapkan pada pengujian setelah penuaan dalam oven udara yang ditentukan dalam Tabel 15 untuk insulasi dan Tabel 18 untuk selubung nonlogam.

## **18.6 Uji susut massa pada selubung PVC tipe ST<sub>2</sub>**

### **18.6.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus sesuai dengan 8.2 dari IEC 60811-3-2.

### **18.6.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 19.

## **18.7 Uji tekanan pada suhu tinggi pada insulasi dan selubung nonlogam**

### **18.7.1 Prosedur**

Uji tekanan pada suhu tinggi harus dilakukan sesuai dengan Ayat 8 dari IEC 60811-3-1 dengan menggunakan kondisi uji yang diberikan pada metode uji dan pada Tabel 16 dan 20.



### **18.7.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan pada Ayat 8 dari IEC 60811-3-1.

## **18.8 Pengujian pada insulasi dan selubung PVC dan selubung bebas halogen pada suhu rendah**

### **18.8.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus sesuai dengan Ayat 8 dari IEC 60811-1-4, dengan menggunakan suhu uji yang ditentukan dalam Tabel 16, 19 dan 21.

### **18.8.2 Persyaratan**

Hasil uji harus sesuai dengan persyaratan yang diberikan pada Ayat 8 dari IEC 60811-1-4.

## **18.9 Pengujian untuk ketahanan insulasi dan selubung PVC terhadap keretakan (uji kejut panas)**

### **18.9.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus sesuai dengan Ayat 9 dari IEC 60811-3-1, suhu uji dan durasinya sesuai dengan Tabel 16 dan 19.

### **18.9.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan pada Ayat 9 dari IEC 60811-3-1.

## **18.10 Uji ketahanan ozon untuk insulasi EPR dan HEPR**

### **18.10.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 8 dari IEC 60811-2-1. Konsentrasi ozon dan durasi uji harus sesuai dengan Tabel 17.

### **18.10.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan pada Ayat 8 dari IEC 60811-2-1.

## **18.11 Uji set panas untuk insulasi EPR, HEPR dan XLPE dan selubung elastomer**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan 16.9 dan harus memenuhi persyaratannya.

## **18.12 Uji perendaman minyak untuk selubung elastomer**

### **18.12.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 10 dari IEC 60811-2-1, dengan menggunakan kondisi yang diberikan dalam Tabel 22.

### **18.12.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 22.

### **18.13 Uji serap air pada insulasi**

#### **19.13.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus sesuai dengan 9.1 atau 9.2 dari IEC 60811-1-3, dengan menggunakan kondisi yang ditentukan dalam Tabel 16 atau 17.

#### **18.13.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam 9.1 dari IEC 60811-1-3 atau Tabel 17.

### **18.14 Uji bakar**

#### **18.14.1 Uji rambat nyala api pada kabel tunggal**

Pengujian ini harus dilakukan hanya pada kabel berselubung luar ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub> atau SE<sub>1</sub> jika disyaratkan secara khusus.

Metode uji dan persyaratan harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 60332-1.

#### **18.14.2 Uji rambat nyala api pada kabel pintal (*bunched cables*)**

Pengujian harus dilakukan pada kabel bebas halogen berselubung terluar ST<sub>8</sub>.

Metode uji dan persyaratan harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 60332-3-24.

#### **18.14.3 Uji emisi asap**

Pengujian ini harus dilakukan pada kabel bebas halogen berselubung luar ST<sub>8</sub>.

Metode uji dan persyaratan harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 61034-2.

#### **18.14.4 Uji emisi gas asam**

Pengujian ini harus dilakukan pada komponen nonlogam kabel bebas halogen berselubung luar ST<sub>8</sub>.

##### **18.14.4.1 Prosedur**

Metode uji harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 60754-1.

##### **18.14.4.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

#### **18.14.5 Uji pH dan konduktivitas**

Pengujian ini harus dilakukan pada komponen nonlogam kabel bebas halogen berselubung luar ST<sub>8</sub>.

##### **18.14.5.1 Prosedur**

Metode uji harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 60754-2.

#### **18.14.5.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

#### **18.14.6 Uji kadar fluor**

Pengujian ini harus dilakukan pada komponen nonlogam kabel bebas halogen berselubung luar ST<sub>8</sub>.

##### **18.14.6.1 Prosedur**

Metode uji harus sebagaimana yang ditentukan pada IEC 60684-2.

##### **18.14.6.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam Tabel 23.

#### **18.14.7 Uji keracunan**

Dalam pertimbangan.

CATATAN Metode uji dalam pertimbangan.

#### **18.15 Pengukuran kadar hitam karbon dari selubung terluar PE hitam**

##### **18.15.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 11 dari IEC 60811-4-1.

##### **18.15.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 20.

#### **18.16 Uji pengerutan untuk insulasi XLPE**

##### **18.16.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 10 dari IEC 60811-1-3 pada kondisi yang ditentukan dalam Tabel 17.

##### **18.16.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 17.

#### **18.17 Uji tekuk khusus**

Pengujian ini harus dilakukan pada kabel multiinti dengan voltase pengenalan 0,6/1 (1,2) kV yang mempunyai lapisan logam kolektif dalam bentuk pita logam yang diterapkan langsung di atas rakitan inti dan mengabaikan penutup bagian dalam.

##### **18.17.1 Prosedur**

Sampel harus ditebuk mengelilingi silinder uji (misalnya pusat drum) pada suhu ambien sekurangnya satu lilitan penuh. Diameter silinder harus  $7 D \pm 5 \%$  dengan  $D$  adalah diameter

eksternal aktual dari sampel kabel. Kabel kemudian harus dilepas dan proses harus diulang kecuali bahwa penekukan sampel harus pada arah sebaliknya.

Siklus operasi ini harus dilakukan tiga kali. Sampel yang dibiarkan ditekuk mengelilingi silinder kemudian harus ditempatkan dalam oven udara yang dipanasi hingga suhu konduktor maksimum pada operasi normal kabel selama 24 jam.

Setelah kabel dingin dan ketika masih tertekuk, uji voltase harus dilakukan sesuai dengan 15.3.

#### **18.17.2 Persyaratan**

Tidak boleh terjadi tembus dan selubung terluar tidak boleh memperlihatkan tanda retak.

### **18.18 Penentuan kekerasan insulasi HEPR**

#### **18.18.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Lampiran C.

#### **18.18.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 17.

### **18.19 Penentuan modulus elastis insulasi HEPR**

#### **18.19.1 Prosedur**

Pengambilan sampel, penyiapan potongan uji dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 9 dari IEC 60811-1-1.

Beban yang disyaratkan untuk pemuluran 150 % harus diukur. Stres terkait harus dihitung dengan membagi beban yang diukur dengan luas penampang potongan uji yang tidak direntangkan. Rasio stres terhadap regangan harus ditentukan untuk memperoleh modulus elastis pada pemuluran 150 %.

Modulus elastis harus merupakan nilai median.

#### **18.19.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 17.

### **18.20 Uji pengerutan untuk selubung terluar PE**

#### **18.20.1 Prosedur**

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan Ayat 11 dari IEC 60811-1-3 pada kondisi yang ditentukan dalam Tabel 20.

#### **18.20.2 Persyaratan**

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 20.

CATATAN Untuk selubung terluar bebas halogen, metode uji dalam pertimbangan.

### 18.21 Uji mekanis tambahan pada selubung terluar bebas halogen

Pengujian ini dimaksudkan untuk memeriksa bahwa selubung terluar bebas halogen tidak dapat rusak selama pemasangan dan operasi.

CATATAN Uji abrasi, uji ketahanan sobek dan uji kejut panas dalam pertimbangan.

### 18.22 Uji serap air untuk selubung terluar bebas halogen

#### 18.22.1 Prosedur

Pengambilan sampel dan prosedur uji harus dilakukan sesuai dengan 9.2 dari IEC 60811-1-3 dengan menggunakan kondisi yang ditentukan dalam Tabel 21.

#### 18.22.2 Persyaratan

Hasil uji harus memenuhi persyaratan Tabel 21.

## 19 Uji listrik setelah pemasangan

Pengujian setelah pemasangan dilakukan, bila disyaratkan, jika pemasangan kabel dan lengkapannya telah lengkap.

Voltase a.s. sama dengan  $4 U_0$  harus diterapkan selama 15 menit.

CATATAN Uji listrik pada instalasi yang diperbaiki adalah subjek dari persyaratan instalasi. Pengujian di atas hanya untuk pemasangn baru.

**Tabel 13 Persyaratan uji tipe listrik untuk kompon insulasi**

Penyebutan kompon (lihat 4.2)	Unit	PVC/A	EPR/ HEPR	XLPE
<b>Suhu konduktor maksimum pada operasi normal (lihat 4.2)</b>	$^{\circ}\text{C}$	<b>70</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
Resistivitas volume $\rho$				
- pada $20^{\circ}\text{C}$ (lihat 17.1)	$\Omega\cdot\text{cm}$	$10^{13}$	-	-
- pada suhu konduktor maksimum pada operasi normal (lihat 17.2)	$\Omega\cdot\text{cm}$	$10^{10}$	$10^{12}$	$10^{12}$
Konstanta resistans insulasi $K_i$				
- pada $20^{\circ}\text{C}$ (lihat 17.1)	$\text{M}\Omega\cdot\text{km}$	36,7	-	-
- pada suhu konduktor maksimum pada operasi normal (lihat 17.2)	$\text{M}\Omega\cdot\text{km}$	0,037	3,67	3,67

**Tabel 14 Uji tipe nonlistrik**  
(lihat Tabel 15 hingga 23)

Penyebutan kompon (lihat 4.2 dan 4.3)	Insulasi				Selubung					
	PVC/A	EPR	HEPR	XLPE	PVC		PE		ST <sub>8</sub>	SE <sub>1</sub>
					ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>		
Dimensi										
Pengukuran ketebalan	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sifat mekanis (kuat tarik dan pemuluran saat putus)										
Tanpa penuaan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Setelah penuaan dalam oven udara	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Setelah penuaan potongan kabel utuh	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Setelah direndam dalam minyak panas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Sifat termoplastik										
Uji tekanan panas (lekukan)	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-
Perilaku pada suhu rendah	x	-	-	-	x	x	-	-	x	-
Lain-lain										
Susut massa dalam oven udara	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
Uji kejut bahang (keretakan)	x	-	-	-	x	x	-	-	-	-
Uji ketahanan ozon	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-
Uji set panas	-	x	x	x	-	-	-	-	-	x
Penyerapan air	x	x	x	x	-	-	-	-	x	-
Uji pengerutan	-	-	-	x	-	-	x	x	<sup>c</sup>	-
Kadar hitam karbon <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Penentuan kekerasan	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Penentuan modulus elastisitas	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-

Uji api										
Uji rambat api pada kabel tunggal (jika disyaratkan)	-	-	-	-	x	x	-	-	-	x
Uji rambat api pada kabel pintal	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
Uji emisi asap pada kabel	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
Uji emisi gas asam	-	b	b	b	-	-	-	-	x	-
pH dan konduktivitas	-	b	b	b	-	-	-	-	x	-
Uji kadar fluorin	-	b	b	b	-	-	-	-	x	-
CATATAN x menunjukkan bahwa uji tipe harus diterapkan.										
<sup>a</sup> Hanya untuk selubung terluar hitam. <sup>b</sup> Menunjukkan bahwa pengujian hanya dipersyaratkan untuk EPR, HEPR dan XLPE bila kabel dinyatakan sebagai bebas halogen. <sup>c</sup> Dalam pertimbangan.										

**Tabel 15 Persyaratan uji untuk sifat mekanis kompon insulasi  
(sebelum dan sesudah penuaan)**

Penyebutan kompon (lihat 4.2)	Unit	PVC/A	EPR		HEPR		XLPE	
			Kabel 0,6/1 (1,2) kV dengan konduktor tembaga	Semua kabel lain	Kabel 0,6/1 (1,2) kV dengan konduktor tembaga	Semua kabel lain	Kabel 0,6/1 (1,2) kV dengan konduktor tembaga	Semua kabel lain
<b>Suhu konduktor maksimum pada operasi normal (lihat 4.2)</b>	<b>°C</b>	<b>70</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
Tanpa penuaan (IEC 60811-1-1, Subayat 9.1)								
Kuat tarik, minimum	N/mm <sup>2</sup>	12,5	4,2	4,2	8,5	8,5	12,5	12,5
Pemuluran saat putus, min.	%	150	200	200	200	200	200	200
Setelah penuaan di dalam oven udara (IEC 60811-1-2, Subayat 8.1)								
Setelah penuaan tanpa konduktor								
Perlakuan:								
- suhu	°C	100	135	135	135	135	135	135
- toleransi	°C	±2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
- durasi	jam	168	168	168	168	168	168	168
Kuat tarik:								
a) nilai setelah penuaan, minimum	N/mm <sup>2</sup>	12,5	-	-	-	-	-	-
b) variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
Pemuluran saat putus								
a) nilai setelah penuaan, minimum	%	150	-	-	-	-	-	-
b) variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
Setelah penuaan dengan konduktor tembaga diikuti uji kuat tarik <sup>b</sup>								
Perlakuan:								
- suhu	°C	-	150	-	150	-	150	-
- toleransi	°C	-	±3	-	±3	-	±3	-
- durasi	jam	-	168	-	168	-	168	-
Kuat tarik:								
Variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	-	±30	-	±30	-	±30	-
Pemuluran saat putus								
Variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	-	±30	-	±30	-	±30	-
Setelah penuaan dengan konduktor tembaga diikuti uji tekuk (hanya jika uji kuat tarik tidak dapat dilakukan) <sup>b</sup>								
Perlakuan:								
- suhu	°C	-	150	-	150	-	150	-
- toleransi	°C	-	±3	-	±3	-	±3	-
- durasi	jam	-	240	-	240	-	240	-
Hasil yang harus diperoleh		-	Tidak retak	-	Tidak retak	-	Tidak retak	-

<sup>a</sup> Variasi: perbedaan antara nilai median yang diperoleh setelah penuaan dan nilai median yang diperoleh tanpa penuaan dinyatakan sebagai persentase nilai median yang diperoleh tanpa penuaan.  
<sup>b</sup> Lihat 18.3.2.



Tabel 16 Persyaratan uji karakteristik khusus untuk kompon insulasi PVC

Penyebutan kompon (lihat 4.2 dan 4.3)	Unit	PVC/A
<b>Penggunaan kompon PVC</b>		<b>Insulasi</b>
Uji tekanan pada suhu tinggi (IEC 60811-3-1, Ayat 8)  Suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	80
Perlakuan pada suhu rendah <sup>a</sup> (IEC 60811-1-4, Ayat 8)  Pengujian harus dilakukan tanpa penuaan awal:  - uji tekuk dingin untuk diameter < 12,5 mm - suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-15
Uji pemuluran dingin pada halter:  - suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-15
Uji tumbuk dingin  - suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-
Uji kejut panas (IEC 60811-3-1, Ayat 9)  Perlakuan:  - suhu (toleransi $\pm 3$ °C) - durasi	°C jam	150 1
Penyerapan air (IEC 60811-1-3, Subayat 9.1)  Metode listrik:  Perlakuan:  - suhu (toleransi $\pm 2$ °C) - durasi	°C jam	70 240
<sup>a</sup> Karena kondisi iklim, SNI dapat mensyaratkan penggunaan suhu yang lebih rendah.		

**Tabel 17 Persyaratan uji karakteristik khusus beberapa kompon insulasi termoset**

Penyebutan kompon (lihat 4.2)	Unit	EPR	HEPR	XLPE
Ketahanan ozon (IEC 60811-2-1, Ayat 8)				
Konsentrasi ozon (dengan volume)	%	0,025 hingga 0,030	0,025 hingga 0,030	-
Durasi uji tanpa retak	jam	24	24	-
Uji set panas (IEC 60811-2-1, Ayat 9)				
Perlakuan:				
- suhu udara (toleransi $\pm 3^{\circ}\text{C}$ )	$^{\circ}\text{C}$	250	250	200
- waktu saat berbeban	menit	15	15	15
- stres mekanis	$\text{N/cm}^2$	20	20	20
Pemuluran maksimum saat berbeban	%	175	175	175
Pemuluran permanen maksimum setelah pendinginan	%	15	15	15
Penyerapan air (IEC 60811-1-3, Subayat 9.2)				
Metode gravimetrik:				
Perlakuan:				
- suhu (toleransi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )	$^{\circ}\text{C}$	85	85	85
- durasi	jam	336	336	336
Kenaikan massa maksimum	$\text{mg/cm}^2$	5	5	1 <sup>a</sup>
Uji pengerutan (IEC 60811-1-3, Ayat 10)				
Jarak L antara tanda	mm	-	-	200
Perlakuan:				
- suhu (toleransi $\pm 3^{\circ}\text{C}$ )	$^{\circ}\text{C}$	-	-	130
- durasi	jam	-	-	1
Pengerutan maksimum	%	-	-	4
Penentuan kekerasan (lihat Lampiran C) IRHD <sup>b</sup> , minimum		-	80	-
Penentuan modulus elastis (lihat 18.19)				
Modulus pada pemuluran 150%, minimum	$\text{N/mm}^2$	-	4,5	-
<sup>a</sup> Kenaikan yang lebih besar dari $1 \text{ mg/cm}^2$ dipertimbangkan untuk densitas XLPE lebih besar dari $1 \text{ g/cm}^3$ . <sup>b</sup> IRHD: <i>International Rubber Hardness Degree</i> .				

**Tabel 18 Persyaratan uji untuk karakteristik mekanis kompon selubung  
(sebelum dan setelah penuaan)**

Penyebutan kompon (lihat 4.3)	Unit	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>	ST <sub>8</sub>	SE <sub>1</sub>
<b>Suhu konduktor maksimum pada operasi normal (lihat 4.3)</b>	<b>°C</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>85</b>
Tanpa penuaan (IEC 60811-1-1, Subayat 9.2)							
Kuat tarik, minimum	N/mm <sup>2</sup>	12,5	12,5	10,0	12,5	9,0	10,0
Pemuluran saat putus, minimum	%	150	150	300	300	125	300
Setelah penuaan di dalam oven udara (IEC 60811-1-2, Subayat 8.1)							
Perlakuan:							
- suhu (toleransi ±2 °C)	°C	100	100	100	110	100	100
- durasi	jam	168	168	240	240	168	168
Kuat tarik:							
a) nilai setelah penuaan, minimum	N/mm <sup>2</sup>	12,5	12,5	-	-	9,0	-
b) variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	±25	±25	-	-	±40	±30
Pemuluran saat putus:							
a) nilai setelah penuaan, minimum	%	150	150	300	300	100	250
b) variasi <sup>a</sup> , maksimum	%	±25	±25	-	-	±40	±40
<sup>a</sup> Variasi: perbedaan antara nilai median yang diperoleh setelah penuaan dan nilai median yang diperoleh tanpa penuaan dinyatakan sebagai persentase nilai median yang diperoleh tanpa penuaan.							

**Tabel 19 Persyaratan uji untuk karakteristik khusus kompon selubung PVC**

Penyebutan kompon (lihat 4.2 dan 4.3)	Unit	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>
<b>Penggunaan kompon PVC</b>		<b>Selubung</b>	
Susut massa dalam oven udara (IEC 60811-3-2, Subayat8.2)			
Perlakuan:			
- suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-	100
- durasi	jam	-	168
Susut massa maksimum	mg/cm <sup>2</sup>	-	1,5
Uji tekanan pada suhu tinggi (IEC 60811-3-1, Ayat 8)			
- suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	80	90
Perilaku pada suhu rendah <sup>a</sup> (IEC 60811-1-4, Ayat 8)			
Pengujian yang dilakukan tanpa penuaan awal:			
- uji tekuk dingin untuk diameter < 12,5 mm			
- suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-15	-15
Uji pemuluran dingin pada halter:			
- suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-15	-15
Uji tumbuk dingin:			
- suhu (toleransi $\pm 2$ °C)	°C	-15	-15
Uji kejut panas (IEC 60811-3-1, Ayat 9)			
- suhu (toleransi $\pm 3$ °C)	°C	150	150
- durasi	jam	1	1
<sup>a</sup> Karena kondisi iklim, SNI dapat mensyaratkan penggunaan suhu yang lebih rendah.			

**Tabel 20 Persyaratan uji untuk karakteristik khusus kompon selubung PE termoplastik**

Penyebutan kompon (lihat 4.3)	Unit	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>
Densitas <sup>a</sup> (IEC 60811-1-3, Ayat 8)			
Kadar hitam karbon (hanya untuk selubung terluar yang hitam) (IEC 60811-4-1, Ayat 11)			
Nilai nominal	%	2,5	2,5
Toleransi	%	±0,5	±0,5
Uji pengerutan (IEC 60811-1-3, Ayat 11)			
Perlakuan:			
- suhu (toleransi ±2 °C)	°C	80	80
- pemanasan, durasi	jam	5	5
- pemanasan, siklus		5	5
Pengerutan maksimum	%	3	3
Uji tekanan pada suhu tinggi (IEC 60811-3-1, Subayat 8.2)			
- suhu (toleransi ±2 °C)	°C	-	110
<sup>a</sup> Pengukuran densitas hanya disyaratkan untuk keperluan pengujian lain.			

**Tabel 21 Persyaratan uji karakteristik khusus untuk selubung kompon bebas halogen**

Penandaan kompon	Unit	ST <sub>8</sub>
Perlakuan pada suhu rendah <sup>a</sup> (IEC 60811-1-4, Ayat 8)		
Pengujian dilakukan tanpa penuaan awal: - uji tekuk dingin untuk diameter < 12,5 mm - suhu (toleransi ±2 °C)	°C	-15
Uji pemuluran dingin pada halter: - suhu (toleransi ±2 °C)	°C	-15
Uji tumbuk dingin: - suhu (toleransi ±2 °C)	°C	-15
Uji tekanan pada suhu tinggi (IEC 60811-3-1, Ayat 8)		
- suhu (toleransi ±2 °C)	°C	80
Penyerapan air (IEC 60811-1-3, 9.2)		
Metode gravimetrik:		
Perlakuan:		
- suhu (toleransi ±2 °C)	°C	70
- durasi	jam	24
Kenaikan massa maksimum	mg/cm <sup>2</sup>	10
<sup>a</sup> Karena kondisi iklim, SNI dapat mensyaratkan penggunaan suhu yang lebih rendah.		

**Tabel 22 Persyaratan uji karakteristik khusus untuk selubung kompon elastomeris**

Penyebutan kompon (lihat 4.3)	Unit	SE <sub>1</sub>
Uji perendaman minyak diikuti dengan penentuan sifat mekanis (IEC 60811-2-1, Ayat 10 dan IEC 60811-1-1, Ayat 9)  Perlakuan: - suhu minyak (toleransi $\pm 2$ °C) - durasi  Variasi maksimum <sup>a</sup> dari: a) kuat tarik b) pemuluran saat putus	°C jam  % %	100 24  $\pm 40$ $\pm 40$
Uji set panas (IEC 60811-2-1, Ayat 9)  Perlakuan: - suhu (toleransi $\pm 3$ °C) - waktu saat berbeban - stres mekanis  Pemuluran maksimum saat berbeban  Pemuluran permanen maksimum setelah pendinginan	°C menit N/cm <sup>2</sup>  % %	200 15 20  175  15
<sup>a</sup> Variasi: perbedaan antara nilai median yang diperoleh setelah penuaan dan nilai median yang diperoleh tanpa penuaan dinyatakan sebagai persentase nilai median yang diperoleh tanpa penuaan.		

**Tabel 23 Metode uji dan persyaratan untuk kompon bebas halogen**

Metode uji	Unit	Persyaratan
Uji emisi gas asam (IEC 60754-1)  Kadar bromin dan klorin (dinyatakan sebagai HCl), maksimum	%	0,5
Uji kadar fluorin (IEC 60684-2)  Kadar fluorin, maksimum	%	0,1
Uji pH dan konduktivitas (IEC 60754-2)  pH, minimum Konduktivitas, maksimum	$\mu\text{S}/\text{mm}$	4,3 10
CATATAN Uji keracunan dalam pertimbangan		

## **Lampiran A** (normatif)

### **Metode perhitungan semu untuk penentuan dimensi penutup proteksi**

Tebal penutup kabel, seperti selubung dan armor, biasanya berkaitan dengan diameter kabel nominal dengan sarana “tabel langkah”.

Hal ini kadang-kadang menyebabkan masalah. Diameter nominal terukur tidak perlu sama seperti nilai aktual yang dicapai pada produksi. Pada kasus perbatasan, dapat timbul pertanyaan jika tebal penutup tidak berkaitan dengan diameter aktual karena diameter terukur sedikit berbeda. Variasi pada dimensi konduktor sektor antara pabrikan dan metode perhitungan berbeda menyebabkan perbedaan pada diameter nominal dan karena itu dapat mengarah pada variasi tebal penutup yang digunakan pada desain dasar kabel yang sama.

Untuk menghindari kesulitan ini, metode perhitungan semu harus digunakan. Idenya adalah untuk mengabaikan bentuk dan tingkat kekompakan konduktor dan untuk menghitung diameter semu dari rumus yang didasarkan pada luas penampang konduktor, tebal insulasi nominal dan jumlah inti. Tebal selubung dan penutup lain kemudian dikaitkan ke diameter semu dengan rumus atau dengan tabel. Metode menghitung diameter semu ditentukan secara tepat dan tidak ada keraguan tentang tebal penutup yang digunakan, yang independen dari sedikit perbedaan pada praktik pembuatan. Hal ini menstandarisasikan desain kabel, tebal akan diprahitung dan ditentukan untuk masing-masing penampang kabel.

Perhitungan semu yang digunakan hanya untuk menentukan dimensi selubung dan penutup kabel, bukan untuk mengganti perhitungan diameter aktual yang diperlukan untuk keperluan praktis, yang sebaiknya dihitung secara terpisah.

#### **A.1 Umum**

Metode semu berikut untuk menghitung tebal berbagai penutup pada kabel telah diadopsi untuk memastikan bahwa setiap perbedaan yang dapat timbul pada perhitungan independen, misalnya karena asumsi dimensi konduktor dan perbedaan tak dapat dihindari antara diameter nominal dan diameter yang dicapai secara aktual, dapat dihapuskan.

Semua nilai tebal dan diameter harus dibulatkan menurut persyaratan pada Lampiran B untuk angka desimal pertama.

Bilah pemegang, misalnya spiral lawan di atas armor, jika tidak lebih tebal dari 0,3 mm, diabaikan pada metode perhitungan ini.

#### **A.2 Metode**

##### **A.2.1 Konduktor**

Diameter semu ( $d_L$ ) konduktor, tidak tergantung bentuk dan kekompakan, diberikan untuk masing-masing penampang nominal pada Tabel A.1.

Tabel A.1 Diameter semu konduktor

Penampang nominal konduktor mm <sup>2</sup>	$d_L$ mm	Penampang nominal konduktor mm <sup>2</sup>	$d_L$ mm
1,5	1,4	95	11,0
2,5	1,8	120	12,4
4	2,3	150	13,8
6	2,8	185	15,3
10	3,6	240	17,5
16	4,5	300	19,5
25	5,6	400	22,6
35	6,7	500	25,2
50	8,0	630	28,3
70	9,4	800	31,9
		1000	35,7

**A.2.2 Inti**

Diameter semu  $D_c$  setiap inti diberikan oleh:

$$D_c = d_L + 2 t_i$$

dengan  $t_i$  adalah tebal nominal insulasi dalam milimeter (lihat Tabel 5 hingga 7).

Jika diterapkan skrin logam atau konduktor konsentris, pertambahan selanjutnya harus dilakukan sesuai dengan A.2.5.

**A.2.3 Diameter di atas pilinan inti**

Diameter semu di atas pilinan inti ( $D_f$ ) diberikan oleh:

- a) untuk kabel yang mempunyai semua konduktor dengan luas penampang nominal sama:

$$D_f = k D_c$$

dengan koefisien rakitan  $k$  diberikan dalam Tabel A.2.

- b) untuk kabel empat inti dengan satu konduktor penampangnya dikurangi:

$$D_f = \{2,42 (3 D_{c1} + D_{c2})\}/4$$

dengan

$D_{c1}$  adalah diameter semu konduktor fase berinsulasi, termasuk lapisan logam, jika ada, dalam milimeter;

$D_{c2}$  adalah diameter semu konduktor dengan penampang dikurangi, termasuk insulasi atau penutup, jika ada, dalam milimeter.



Tabel A.2 Koefisien rakitan  $k$  untuk pilinan inti

Jumlah inti	Koefisien rakitan $k$	Jumlah inti	Koefisien rakitan $k$
2	2,00	24	6,00
3	2,16	25	6,00
4	2,42	26	6,00
5	2,70	27	6,15
6	3,00	28	6,41
7	3,00	29	6,41
7 <sup>a</sup>	3,35	30	6,41
8	3,45	31	6,70
8 <sup>a</sup>	3,66	32	6,70
9	3,80	33	6,70
9 <sup>a</sup>	4,00	34	7,00
10	4,00	35	7,00
10 <sup>a</sup>	4,40	36	7,00
11	4,00	37	7,00
12	4,16	38	7,33
12 <sup>a</sup>	5,00	39	7,33
13	4,41	40	7,33
14	4,41	41	7,67
15	4,70	42	7,67
16	4,70	43	7,67
17	5,00	44	8,00
18	5,00	45	8,00
18 <sup>a</sup>	7,00	46	8,00
19	5,00	47	8,00
20	5,33	48	8,15
21	5,33	52	8,41
22	5,67	61	9,00
23	5,67		

<sup>a</sup> Inti dirakit dalam satu lapisan.

#### A.2.4 Penutup bagian dalam

Diameter semu di atas penutup bagian dalam ( $D_B$ ) diberikan oleh:

$$D_B = D_f + 2 t_B$$

dengan

$t_B = 0,4$  mm untuk diameter semu di atas pilinan inti ( $D_f$ ) sampai dengan 40 mm;

$t_B = 0,6$  mm untuk  $D_f$  melebihi 40 mm.

Nilai semu ini untuk  $t_B$  berlaku untuk:

a) kabel multiinti:

- apakah penutup bagian dalam dapat diterapkan atau tidak;

- apakah penutup bagian dalam diekstrusi atau dibelitkan;

kecuali selubung pemisah yang memenuhi 13.3.3 digunakan untuk menggantikan atau sebagai tambahan penutup bagian dalam, jika sebagai gantinya berlaku A.2.7;

b) kabel inti tunggal:

jika penutup bagian dalam diterapkan apakah diekstrusi atau dibelitkan.

### A.2.5 Konduktor konsentris dan skrin logam

Pertambahan diameter karena konduktor konsentris atau skrin logam diberikan dalam Tabel A.3.

**Tabel A.3** Pertambahan diameter untuk konduktor konsentris dan skrin logam

Penampang nominal konduktor konsentris atau skrin logam mm <sup>2</sup>	Pertambahan diameter mm	Penampang nominal konduktor konsentris atau skrin logam mm <sup>2</sup>	Pertambahan diameter mm
1,5	0,5	50	1,7
2,5	0,5	70	2,0
4	0,5	95	2,4
6	0,6	120	2,7
10	0,8	150	3,0
16	1,1	185	4,0
25	1,2	240	5,0
35	1,4	300	6,0

Jika penampang konduktor konsentris atau skrin logam berada di antara dua nilai yang diberikan pada tabel di atas, maka pertambahan diameter diberikan untuk yang lebih besar antara dua penampang.

Jika diterapkan skrin logam, luas penampang skrin yang akan digunakan pada tabel di atas harus dihitung dengan cara berikut:

a) skrin pita

$$\text{luas penampang} = n_t \times t_t \times w_t$$

dengan

$n_t$  adalah jumlah pita;

$t_t$  adalah tebal nominal pita individual, dalam milimeter;

$w_t$  adalah lebar nominal pita individual, dalam milimeter.

Jika tebal total skrin kurang dari 0,15 mm maka pertambahan diameter harus nol:

- untuk skrin pita dibelitkan yang terbuat dari dua pita atau satu pita dengan tumpang tindih (*overlap*), tebal total adalah dua kali tebal satu pita;
- untuk skrin pita yang diterapkan secara longitudinal:
  - jika tumpang tindih di bawah 30%, tebal total adalah tebal pita;
  - jika tumpang tindih lebih besar dari atau sama dengan 30%, tebal total adalah dua kali tebal pita.

b) skrin kawat (dengan spiral lawan (*counter helix*), jika ada):

$$\text{luas penampang} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times w_h$$

dengan

$n_w$  adalah jumlah kawat;

$d_w$  adalah diameter kawat individual, dalam milimeter;

$n_h$  adalah jumlah spiral lawan;

$t_h$  adalah tebal spiral lawan, dalam milimeter, jika lebih besar dari 0,3 mm;

$w_h$  adalah lebar spiral lawan, dalam milimeter.

### A.2.6 Selubung timbel

Diameter semu di atas selubung timbel ( $D_{pb}$ ) dinyatakan dengan:

$$D_{pb} = D_g + 2 t_{pb}$$

dengan

$D_g$  adalah diameter semu di bawah selubung timbel, dalam milimeter;

$t_{pb}$  adalah tebal yang dihitung sesuai dengan Ayat 11, dalam milimeter.

### A.2.7 Selubung pemisah

Diameter semu di atas selubung pemisah ( $D_s$ ) diberikan oleh:

$$D_s = D_u + 2 t_s$$

dengan

$D_u$  adalah diameter semu di bawah selubung pemisah, dalam milimeter;

$t_s$  adalah tebal yang dihitung sesuai dengan 12.3.3, dalam milimeter.

### A.2.8 Bantalan dibelitkan

Diameter semu di atas bantalan dibelitkan ( $D_{lb}$ ) dinyatakan dengan:

$$D_{lb} = D_{ulb} + 2 t_{lb}$$

dengan

$D_{ulb}$  adalah diameter semu di bawah bantalan dibelitkan, dalam milimeter;

$t_s$  adalah tebal bantalan dibelitkan, yakni 1,5 mm menurut 12.3.4.

### A.2.9 Bantalan tambahan untuk kabel berarmor pita (diberikan di atas penutup bagian dalam)

**Tabel A.4 Pertambahan diameter untuk bantalan tambahan**

Diameter semu di bawah bantalan tambahan		Pertambahan diameter untuk bantalan dibelitkan
Di atas	Sampai dengan	
mm	mm	mm
-	29	1,0
29	-	1,6

### A.2.10 Armor

Diameter semu di atas armor ( $D_x$ ) diberikan untuk:

a) armor kawat pipih atau bulat, oleh:

$$D_x = D_A + 2 t_A + 2 t_w$$

dengan

$D_A$  adalah diameter di bawah armor, dalam milimeter;

$t_A$  adalah tebal atau diameter kawat armor, dalam milimeter;

$t_w$  adalah tebal spiral lawan, jika ada, dalam milimeter, jika lebih besar dari 0,3 mm.

b) untuk armor pita dobel, oleh:

$$D_x = D_A + 4 t_A$$

dengan

$D_A$  adalah diameter di bawah armor, dalam milimeter;

$t_A$  adalah tebal pita armor, dalam milimeter.

## Lampiran B (normatif)

### Pembulatan angka

#### B.1 Pembulatan angka untuk keperluan metode perhitungan semu

Persyaratan berikut berlaku ketika membulatkan angka dalam perhitungan diameter semu dan menentukan dimensi lapisan komponen sesuai dengan Lampiran A.

Jika nilai terhitung pada sebarang tahap mempunyai lebih dari satu desimal, nilainya harus dibulatkan ke satu desimal, yaitu yang paling mendekati 0,1 mm. Diameter semu pada setiap tahap harus dibulatkan ke 0,1 mm dan jika digunakan untuk menentukan tebal atau dimensi lapisan di atasnya, maka harus dibulatkan sebelum digunakan pada rumus atau tabel yang sesuai. Tebal yang dihitung dari nilai diameter semu yang dibulatkan, harus secara bergantian dibulatkan ke 0,1 mm sebagaimana disyaratkan pada Lampiran A.

Untuk menggambarkan persyaratan ini, contoh praktis berikut diberikan:

- a) jika angka pada desimal ke dua sebelum pembulatan adalah 0, 1, 2, 3 atau 4, maka angka pada desimal pertama tetap tidak berubah (dibulatkan ke bawah);

Contoh:

$$\begin{aligned} 2,12 &\approx 2,1 \\ 2,449 &\approx 2,4 \\ 25,0478 &\approx 25,0 \end{aligned}$$

- b) jika angka pada desimal ke dua sebelum pembulatan adalah 9, 8, 7, 6 atau 5, maka angka pada desimal pertama ditambah satu (dibulatkan ke atas);

Contoh:

$$\begin{aligned} 2,17 &\approx 2,2 \\ 2,453 &\approx 2,5 \\ 30,050 &\approx 30,1 \end{aligned}$$

#### B.2 Pembulatan angka untuk keperluan lain

Untuk keperluan selain yang dijelaskan pada Ayat B.1, maka dapat disyaratkan bahwa nilai dibulatkan ke lebih dari satu desimal. Hal ini dapat terjadi, misalnya dalam menghitung nilai rata-rata untuk beberapa hasil pengukuran, atau nilai minimum dengan memberlakukan suatu toleransi persentase terhadap nilai nominal tertentu. Dalam kasus ini, pembulatan harus dilakukan ke angka desimal yang ditentukan pada ayat relevan.

Sehingga metode pembulatan harus sebagai berikut:

- a) jika sebelum dibulatkan, angka terakhir diikuti oleh 0, 1, 2, 3 atau 4, maka angka tersebut tidak berubah (pembulatan ke bawah);

- b) jika sebelum dibulatkan, angka terakhir diikuti oleh 9, 8, 7, 6 atau 5, maka angka tersebut ditambah satu;

Contoh:

$$\begin{aligned} 2,449 &\approx 2,45 && \text{dibulatkan ke dua desimal} \\ 2,449 &\approx 2,4 && \text{dibulatkan ke satu desimal} \\ 25,0478 &\approx 25,048 && \text{dibulatkan ke tiga desimal} \\ 25,0478 &\approx 25,05 && \text{dibulatkan ke dua desimal} \\ 25,0478 &\approx 25,0 && \text{dibulatkan ke satu desimal} \end{aligned}$$

**Lampiran C**  
(normatif)

**Penentuan kekerasan insulasi HEPR**

**C.1 Potongan uji**

Potongan uji harus merupakan sampel kabel utuh dengan seluruh penutup, di luar insulasi HEPR yang akan diukur, dilepas dengan hati-hati. Sebagai alternatif, dapat digunakan suatu sampel inti berinsulasi.

**C.2 Prosedur uji**

Pengujian harus dilakukan sesuai dengan ISO 48 dengan pengecualian seperti ditunjukkan di bawah.

**C.2.1 Permukaan radius lengkung besar**

Instrumen uji, sesuai dengan ISO 48, harus dikonstruksi sedemikian sehingga instrumen tersebut benar-benar bertumpu pada insulasi HEPR dan memungkinkan kaki penekan (*presser foot*) dan pelekuk (*indenter*) melakukan kontak vertikal dengan permukaan ini. Hal ini dilakukan dengan salah satu cara berikut:

- a) instrumen dipasang dengan kaki yang dapat digerakkan pada sambungan universal sedemikian sehingga menyesuaikan sendiri ke permukaan kurva;
- b) alas instrumen dipasang dengan dua buah batang paralel A dan A', jaraknya tergantung pada lengkung permukaan tersebut (lihat Gambar C.1).

Metode ini dapat digunakan pada permukaan dengan radius lengkung di bawah 20 mm.

Jika tebal insulasi HEPR yang diuji kurang dari 4 mm, instrumen yang dijelaskan pada metode yang digunakan dalam ISO 48 untuk potongan uji tipis dan kecil harus digunakan.

**C.2.2 Permukaan radius lengkung kecil**

Pada permukaan dengan radius lengkung terlalu kecil untuk prosedur yang dijelaskan pada C.2.1, potongan uji harus disangga diatas alas kaku yang sama seperti instrumen uji, dengan cara sedemikian sehingga meminimalkan gerakan fisik insulasi HEPR ketika kenaikan gaya lekuk diterapkan pada pelekuk dan sedemikian sehingga pelekuk secara vertikal di atas sumbu potongan uji. Prosedur yang sesuai adalah sebagai berikut:

- a) meletakkan potongan uji pada alur atau palung (*trough*) pada jig logam (lihat Gambar C.2a);
- b) meletakkan ujung konduktor potongan uji pada blok-V (lihat Gambar C.2b).

Radius lengkung terkecil dari permukaan yang akan diukur dengan metode ini harus sekurangnya 4 mm.

Untuk radius yang lebih kecil, harus digunakan instrumen seperti dijelaskan pada metode yang digunakan dalam ISO 48 untuk potongan uji tipis dan kecil.

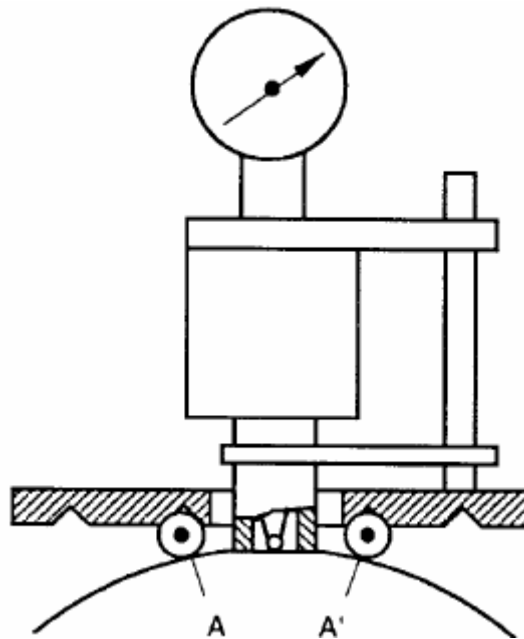
**C.2.3 Pengondisian dan suhu uji**

Waktu minimum antara pabrikasi, yaitu vulkanisasi, dan pengujian harus 16 jam.

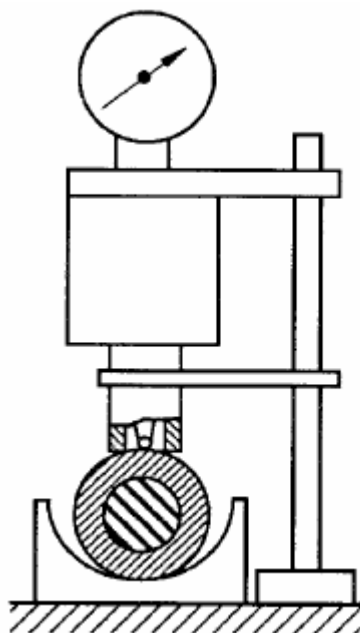
Pengujian harus dilakukan pada suhu  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  dan potongan uji harus dipertahankan pada suhu ini selama sekurangnya 3 jam segera sebelum pengujian.

#### C.2.4 Jumlah pengukuran

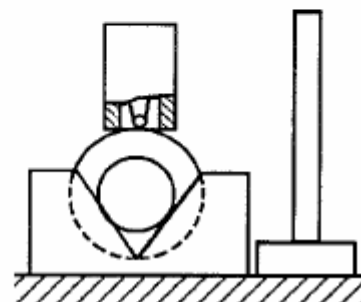
Satu pengukuran harus dilakukan pada masing-masing tiga atau lima titik berbeda yang terdistribusi di sekeliling potongan uji. Median hasil tersebut harus diambil sebagai kekerasan potongan uji, dinyatakan dengan seluruh nomor terdekat dari tingkat kekerasan karet internasional (*international rubber hardness degrees - IRHD*).



Gambar C.1 Pengujian pada permukaan radius lengkung besar



Gambar C.2a Alur potongan uji



Gambar C.2b Potongan uji pada blok-V

Gambar C.2 Pengujian pada permukaan radius lengkung kecil







**BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN**  
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4  
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270  
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : [bsn@bsn.go.id](mailto:bsn@bsn.go.id)

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Hadi Maulana, lahir di Bekasi pada tanggal 30 Oktober 1995 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Ibu yang Amih Fatimah dan Ayah yang bernama Enin Saepudin. Tinggal di Jalan Pangkalan 2 RT 04/02 Cikiwul Bantargebang Kota Bekasi.

Pendidikan formal yang ditempuh : Sekolah Dasar Negeri (SDN) Cikiwul II Bekasi, lulus pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 27 Kota Bekasi, lulus pada tahun 2010. Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 2 Kota Bekasi, lulus pada tahun 2013. Diterima di Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN, pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik.

Selama perkuliahan pernah aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan diantaranya adalah sebagai staf Departemen Kaderisasi BEM Jurusan Teknik Mesin, Ketua Fraksi Teknik Mesin BPM Fakultas Teknik dan Staf IMC Fsi Al-Biruni Fakultas Teknik, dan Ketua MTM UNJ 2017. Selain itu pernah ikut serta dalam kepanitiaan dalam beberapa acara yang dilaksanakan oleh organisasi kemahasiswaan di tingkat FT dan UNJ.

Selama pendidikan memiliki prestasi diantaranya penerima beasiswa BIDIK MISI, Juara 1 Lomba Essay Green Force UNJ 2014, Penerima Hibah PMW UNJ 2015, Juara 1 Essay Bidik Misi Award 2016, Finalis Call For Paper Skill Expo 10.0 tingkat Nasional 2016.